

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

**Podkopový stroj pro agregaci k traktoru  
řady W 5000**

Undermined Machine for Utilization on Tractor  
W 5000 Type

Student: Bc. Lukáš Beránek

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Ostrava 2009

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

Bc. Lukáš Beránek

## **Prohlašuji, že**

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

Bc. Lukáš Beránek

Sokolská 4

Prostějov

okr. Prostějov

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BERÁNEK, L. Podkopový stroj pro agregaci k traktoru řady W 5000 : diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2009, 63 s. Vedoucí práce: Fries, J.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem podkopového stroje pro agregaci k traktoru řady W 5000 Yukon. V první části diplomové práce je vypsána stručná charakteristika problematiky hydraulických rýpadel, které mimo jiné obsahuje teoretický návrh pracovního zařízení rypadla. Následuje upřesnění problému a návrh na jeho řešení. Poté se práce věnuje výpočtům vybraných konstrukčních uzlů ramene rypadla. Ke konci diplomové práce se zabývám vyhodnocením kinematiky rypadla a výpočty stability traktoru Yukon s nainstalovaným podkopovým strojem. V příloze je přiložená výkresová dokumentace ramene rypadla a výkres sestavy stroje.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

BERÁNEK, L. Undermined Machine for Utilization on Tractor W 5000 Type: Master Thesis VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machine and Design, 2009, 63 p. Thesis head: Fries, J.

The thesis is about a constructional design of mining machine for aggregation to tractor W 5000 Yukon. In the first part of the thesis there is written short characteristics of problematics of hydraulic excavators, that among others contains theoretical design of working device of excavator. Specification of problem and suggestion of solution follows. Then there are calculations of selected constructional nodes of the arm of excavator. At the end there is a part about evaluation of kinematics of excavator and calculations of stability of tractor Yukon with installed mining machine. Enclosed are drawing documentations of the arm of excavator and scheme of the machine.

# Obsah

	strana
<b>Seznam použitých značek a symbolů.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Rešerše dané problematiky.....</b>	<b>11</b>
2.1 Stroje pro zemní práce.....	11
2.2 Vznik a vývoj lopatových rypadel.....	12
2.3 Charakteristika lopatových rypadel .....	13
2.4 Rozdělení lopatových rypadel .....	14
2.5 Základní konstrukční celky rypadel .....	16
2.5.1 Horní stavba.....	16
2.5.2 Podvozek.....	17
2.5.3 Pracovní zařízení.....	20
2.6 Teorie návrhu pracovního zařízení .....	25
2.7 Hlavní technologické údaje rypadel .....	30
2.8 Malotraktory .....	31
2.8.1 Malotraktor řady W5000 YUKON.....	31
<b>3. Definice úkolu a jeho řešení.....</b>	<b>33</b>
<b>4. Výpočty .....</b>	<b>36</b>
4.1 Určení rypné síly.....	36
4.2 Určení reakcí v čepech.....	37
4.3 Kontrola čepového spojení .....	40
4.4 Kontrola svarů.....	51
<b>5. Kinematické schéma podkopového rypadla pro malotraktor W 5000.....</b>	<b>54</b>
<b>6. Kontrola stability rypadla.....</b>	<b>56</b>
<b>7. Závěr .....</b>	<b>61</b>
<b>8. Seznam použitých pramenů.....</b>	<b>62</b>
<b>9. Seznam příloh .....</b>	<b>63</b>

## Seznam použitého značení

<b>Značka</b>	<b>Název</b>	<b>Jednotka</b>
$a$	délka výložníku	[m]
$a_l$	rameno síly hydromotoru lopaty vzhledem k úchytu lopaty	[m]
$a_n$	rameno síly hydromotoru násady vzhledem k uchycení násady	[m]
$a_s$	střední výška svaru	[m]
$B_y$	reakce v bodě B ve směru y	[N]
$b$	vzdálenost mezi úchytem hydromotor a úchytem výložníku	[m]
$b_l$	rameno rypné síly vzhledem k úchytu lopaty	[m]
$b_n$	rameno rypné síly vzhledem k úchytu násady	[m]
$C_x$	reakce v bodě C ve směru x	[N]
$C_y$	reakce v bodě C ve směru y	[N]
$d$	průměr pístu přímočarého hydromotoru	[m]
$F$	maximální zatěžující síla	[N]
$F_S$	maximální síla hydromotoru	[N]
$F_{\check{C}EP-2}$	síla působící na čep uchycení násady	[N]
$F_{\check{C}EP-3}$	síla působící na čep uchycení lopaty	[N]
$F_{SV}$	maximální síla působící na svar	[N]
$\Sigma F_{ix}$	síly v ose x	[N]
$\Sigma F_{iy}$	síly v ose y	[N]
$G_{N1}$	tíha od přední nápravy	[N]
$G_{N2}$	tíha od zadní nápravy	[N]
$G_Z$	tíha základny rypadla	[N]
$G_{ZV}$	tíha vozíku rypadla	[N]
$G_V$	tíha výložníku	[N]
$G_N$	tíha násady	[N]
$G_L$	tíha lopaty	[N]
$h$	výška svaru	[m]
$g$	gravitační konstanta	[m · s <sup>-2</sup> ]
$K$	bezpečnost	[Pa]

$k_s$	bezpečnost proti překlpení	[-]
$l$	délka svaru	[m]
$L$	celková delka zatěžování	[m]
$m_{N1}$	hmotnost přední části traktoru	[Kg]
$m_{N2}$	hmotnost zadní části traktoru	[Kg]
$m_Z$	hmotnost základny rypadla	[Kg]
$m_V$	hmotnost výložníku	[Kg]
$m_N$	hmotnost násady	[Kg]
$m_L$	hmotnost lopaty	[Kg]
$M$	moment od rypné síly lopaty	[N.m]
$M_{O1}$	ohybový moment v bodě $x_1$	[N.m]
$M_{O2}$	ohybový moment v bodě $x_2$	[N.m]
$M_{CS}$	celkový stabilizační moment	[N.m]
$M_{CK}$	celkový klopný moment	[N.m]
$M_{N1}$	moment od hmotnosti na přední nápravu	[N.m]
$M_{N2}$	moment od hmotnosti na zadní nápravu	[N.m]
$M_Z$	moment od základny rypadla	[N.m]
$M_{ZV}$	moment od hmotnosti vozíku výložníku	[N.m]
$M_V$	moment od hmotnosti výložníku	[N.m]
$M_N$	moment od hmotnosti násady	[N.m]
$M_L$	moment od hmotnosti lopaty	[N.m]
$M_T$	moment od hmotnosti traktoru	[N.m]
$M_{ZR}$	moment od hmotnosti základny při boční stabilitě	[N.m]
$M_{OMAX}$	maximální ohybový moment	[N.m]
$\Sigma M_{iC}$	moment k bodu C	[N.m]
$p$	tlak v hydraulickém obvodu	[Pa]
$p_{\varepsilon}$	tlak na otláčení	[Pa]
$p_{dov}$	dovolený tlak na otláčení	[Pa]
$q$	spojité zatížení	[N]

$R_N$	rypná síla násady	[N]
$R_L$	rypná síla lopaty	[N]
$R_A$	reakce v bodě A	[N]
$R_B$	reakce v bodě B	[N]
$R_e$	mez kluzu v tahu	[-]
$S$	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$W_0$	modul průřezu v ohybu	[m <sup>3</sup> ]
$x_1$	souřadnice ohybového momentu $M_{O1}$	[m]
$x_2$	souřadnice ohybového momentu $M_{O2}$	[m]
$x$	převodní součinitel svarového spoje	[m]
$x_{N1}$	souřadnice k přední nápravě	[m]
$x_{N2}$	souřadnice k zadní nápravě	[m]
$x_Z$	souřadnice k základně rypadla	[m]
$x_{ZV}$	souřadnice k vozíku základny	[m]
$x_V$	souřadnice k výložníku	[m]
$x_N$	souřadnice k násadě	[m]
$x_L$	souřadnice k lopatě	[m]
$x_T$	souřadnice k těžišti traktoru	[m]
$x_{ZVB}$	souřadnice k vozíku základny	[m]
$\alpha$	nejmenší úhel síly $F_S$ k výložníku	[°]
$\sigma_{dov}$	maximální dovolené ohybové napětí	[Pa]
$\sigma_{Omax}$	maximální ohybové napětí	[Pa]
$\tau_D$	dovolené napětí ve smyku	[Pa]
$\tau_x$	napětí ve smyku v ose x	[Pa]
$\tau_y$	napětí ve smyku v ose y	[Pa]
$\tau_S$	střih čepu	[Pa]
$\tau_{Sdov}$	dovolený tlak na střih	[Pa]
$\eta_c$	účinnost hydromotoru	[-]



## 1. Úvod

Firma Wisconsin Engineering se zabývá výrobou zemědělské techniky. V tomto oboru navazuje na svého předchůdce firmu Wikov, později Agrostroj Prostějov. Mezi zemědělské stroje, které Prostějovský výrobce nabízí, patří malotraktor W5000 YUKON se širokou nabídkou příslušenství. Jedním z přídatných pracovních zařízení je čelní lopatový nakladač. Firma Wisconsin Engineering uvažuje rozšíření nabídky o přídatný podkopový stroj přednostně určen pro traktor řady W5000.

Ve své diplomové práci se zabývám konstrukčním návrhem podkopového stroje, který slouží jako přídatné pracovní zařízení pro malotraktor W5000 YUKON (obr. 1.1).



Obr. 1.1 - Malotraktor W5000 YUKON

## 2. Rešerše dané problematiky

### 2.1 Stroje pro zemní práce

Stavebnictví je jeden ze základních pilířů potřebných k rozvíjení lidské společnosti a její životaschopnosti na Zemi. Čím je toto odvětví lidské činnosti výkonnější, tím lépe dokáže zajišťovat a zlepšovat životní podmínky pro obyvatele. Zefektivňuje-li se stavební výroba, zlepšuje se i ekonomika země.

Zemní práce zaujímají ve stavebnictví asi 10% stavební výroby. Zasahují od silničních, železničních, vodních a vodohospodářských děl, až po výstavbu letišť, obytných, průmyslových a zemědělských komplexů staveb. Jsou zkrátka velice důležitou součástí pozemního stavitelství. Také tvoří důležitou část zemědělských a důlních činností.

Dnes se již bez strojů těžko obejde jakákoliv stavební činnost. Nahradily se nejmornější a fyzicky nejnáročnější práce, pro které bylo odedávna zapotřebí velkého počtu manuálně pracujících. Dnešní stroje pro zemní práce zaujímají různé stavební činnosti. Od vytěžení zemin, jejich přemísťování a nakládku, po specializované stroje na úpravu povrchu, průzkum apod.. Zemní stavební stroje (obr. 2.1) rozdělujeme na těžební (dobývací) a ukládací (zakladače).



Obr. 2.1 – Zemní stavební stroje

## 2.2 Vznik a vývoj lopatových rypadel

Lidé se již od počátku své existence snažili ulehčit manipulaci s břemeny. Od nejprimitivnějších pák, kladkostrojů, po více či méně důmyslné mechanismy. O mnoho později se pro manipulaci se zeminami a sypkými hmotami začali využívat lopatová rypadla, které se také využívaly pro nakládací práce. Počátkem se dá nazvat rok 1833, kdy strojník W. S. Ottis přihlásil patent tzv. „jeřábové lopaty“. Pohon byl pomocí parního stroje a objem lopaty byl  $1,15\text{m}^3$ . Poprvé bylo rypadlo nasazeno při stavbě železniční tratě Baltimore – Ohio. Většinou se jednalo o robustní konstrukčně složité mechanismy se špatnou manévrovatelností a vysokou pořizovací cenou. Ne ve všech oblastech nakládacích prací se sypkými hmotami šly lopatová rypadla využít. To vše zabraňovalo většímu rozšíření lopatových rypadel. Proto začaly vznikat stroje z různou specializací.

K prudkému rozvoji mobilní nakládací techniky bezesporu přispěla druhá světová válka. Díky ní bylo dosaženo pokroku v konstrukci spalovacích motorů, hydrostatických a hydrodynamických prvků pro přenos energie, servomechanizmů, mechanických částí, tuhost konstrukcí i vývoj materiálů. Rozvoj hydrauliky za druhé světové války, zejména v letectví, ukázal nové konstrukční směry při navrhování mobilní stavební techniky. Použití hydraulických válců k ovládání pracovního nástroje (lopaty) vedlo ke značnému zjednodušení konstrukcí.

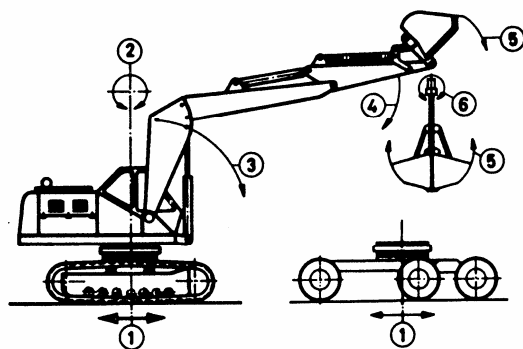
První hydraulická lopatová rýpadla se objevila v padesátých letech ve Francii. Ze začátku se jednalo o hydraulická pracovní zařízení montované na traktory a podvozky nákladních automobilů. Nejdříve se tyto stroje používaly v zemědělství, později i ve stavebnictví, kde se přes svoje počáteční problémy nakonec rozšířily. Nahrazovaly při pomocných pracích těžká rýpadla s lanovým pohonem na pásovém podvozku, jejichž častá přeprava z místa na místo se nevyplácela. Nejprve se jednalo o stroje s malým objemem lopaty, po určité době se ale použitím moderních čerpadel a hydromotorů o velkém výkonu objem lopat zvyšoval.

Konstrukce hydraulických lopatových rypadel si vyžádala zavedení nových technických termínů (hydrogenerátor, hydromotor atd...). Hydrogenerátor zajišťuje pro celý hydraulický systém tlakové médium (hydraulickou kapalinu). Hydromotor pak přenáší energii na pracovní nástroj. Hydromotory se dělí na lineární a rotační. Současná koncepce rypadla využívá k ovládání základního pracovního zařízení tří hydromotorů. Hydromotor k ovládání výložníku, násady a lopaty.

Hydraulická lopatová rypadla jsou stavební stroje pracující v cyklech. Hydraulická lopatová rypadla jsou určena k rozpojování a nakládání zemin, popřípadě jiných materiálů podobných vlastností, např. rozrušeného kameniva a sypkých hmot. Základní pracovní nástroj je otevřená nádoba (lopata). Základní pracovní nástroj hydraulického rypadla (lopatu) lze vyměnit za lopatu jiného obsahu, či uzpůsobení, nebo jiný pracovní nástroj (háček, drapák, sbíječku apod.). Toto dělá z hydraulických lopatových rypadel univerzální stavební stroje. Hlavní náplní hydraulických lopatových rypadel je rozpojování a nakládání zemin a sypkých hmot na dopravní prostředky, ale díky výměně pracovních nástrojů se pole působnosti rozšiřuje na dokončovací, demoliční i manipulační práce. Poté se hlavním předpokladem pro výběr stroje stává rozsah práce, prostor k manévrování, následná dopravní kapacita a pracovní prostředí. Díky tomu můžeme zvolit správnou velikost, uzpůsobení stroje i typ podvozkové části [1].

### **2.3 Charakteristika lopatových rypadel**

Hydraulická lopatová rypadla jsou nejrozšířenější stroje ve stavební činnosti. Jsou určena pro rozpojování, nabírání, přemísťování a nakládání zemin většinou I. až IV. třídy podle ČSN 73 3050, případně jiných materiálů podobných vlastností, např. rašeliny, uhlí, odstřeleného nebo jinak rozrušeného kameniva, stavební suti, vysokopecní strusky atd. Pracovní rozsah rypadel je velmi široký nejen u stavebních prací, ale u všech druhů prací inženýrských, skrývkových v povrchových dolech, v těžení stavebních hmot, při melioračních a zemědělských pracích, apod.



Obr. 2.2 – Základní funkční pohyby hydraulických rýpadel

- 1 – pojezd pásového nebo kolového podvozku
- 2 – otáčení horní stavby
- 3 – zdvih výložníku
- 4 – ovládání násady
- 5 – ovládání lopaty nebo drapáku
- 6 – otáčení pracovního zařízení

Celkové uspořádání pracovního ústrojí odpovídá skladbou pohyblivým mechanickým soustavám (obr. 2.2), které při vhodných podmínkách postupně ztrácejí stupně volnosti, až zcela znehybní a jsou schopné přenášet vnější zatížení. Vhodnou záměnou vzájemných kinematických dvojic, tvořících kinematické vazby mezi jednotlivými členy pracovního ústrojí, se reguluje pohyblivost stroje a schopnost vykonávat jednotlivé typy pracovních cyklů. Z hlediska mechanického modelování takových strojů se jedná o tzv. vázané mechanické soustavy.

## 2.4 Rozdělení lopatových rýpadel

Různé typy lopatových rýpadel se od sebe liší konstrukčním řešením nosného podvozku, horní stavbou a samotným pracovním zařízením. Tímto se dosahuje odlišného způsobu práce jednotlivých typů rýpadel.

## **Rypadla se dají rozdělit:**

Podle funkce:

- jednoúčelová (pro jeden druh práce)
- univerzální (jdou uplatnit u více druhů práce).

Podle pohyblivosti stroje:

- samohybná poháněná (mají vlastní pohon podvozku)
- samohybná nepoháněná (pohyb obstarává pracovní zařízení - BROYT, kráčivá)
- přípojná (k přepravě je zapotřebí tahače)
- přívěsná (rypadlo je připojeno ke stroji, jenž zajišťuje jeho transport nebo i pohon)

Podle typu pohonu:

- se spalovacím motorem
- s elektrickým pohonem
- (v minulosti s parním pohonem – dnes se již nepoužívá)

Podle typu podvozkové části:

- pásové
- kolové
- kráčivé
- na železničním podvozku
- speciální podvozky a umístění

Pracovní zařízení (výložník, násada, pracovní nástroj – lopata) může být umístěno:

- na otočné horní stavbě
- na rámu stroje, kdy má pracovní zařízení vlastní otoč

## **2.5 Základní konstrukční cecky rypadel**

- podvozek
- horní otočná stavba – energetický zdroj, obsluha a kontrolní prvky
- pracovní zařízení - výložník, násada, pracovní nástroj (lopata, drapák, hák atd...)

### **2.5.1 Horní stavba**

Rypadla jsou konstruována tak, aby horní otočná stavba byla základním prvkem, ke kterému lze připojit různé podvozky a pracovní zařízení podle druhu pracovní činnosti. Horní stavba je tedy vybavena základním zařízením pro pohon a řízení stroje (motor, hydrogenerátor, akumulátory, řídicí prvky, pracoviště obsluhy, atd.. Horní stavba je s podvozkem spojena velkopřůměrovým ložiskem. Přes něj se na podvozek přenáší klopné momenty. Horní stavbě dovoluje otáčení kolem svislé osy.

U některých strojů je horní stavba implementována do podvozku. Jedná se o stroje s podvozkem traktorového typu s předním nakladačem a zadní podkopovou lopatou.

### **Spalovací motor**

Tvoří dnes nejčastěji používaný energetický zdroj pro rypadla. Také tvoří nejtěžší část z vybavení horní stavby.

### **Hydraulická soustava**

Přeměňuje mechanickou energii pohonné jednotky na energii hydraulickou a tu pomocí hydromotorů převádí zpět na mechanickou. Princip funkce hydraulického systému je takový, že tlaková kapalina z regulačního hydrogenerátoru přichází do rozvaděče, ve kterém strojník přestavěním páky otevře šoupátko, kterým tlaková

kapalina proudí do příslušného hydromotoru. Po vykonání práce (zdvih výložníku, otočení svršku apod.) beztlaková kapalina odchází zpět do nádrže.

### **Kabina obsluhy**

Po konstrukční stránce musí splňovat řadu funkcí dle mezinárodní normy (bezpečnost práce, ergonomie...). Obsluha má k dispozici veškeré ovládací a kontrolní prvky stroje. Dnes jsou již ovládací prvky nepřímé (hydraulická šoupátka jsou přestavována elektroimpulzivním ovládáním). Zvyšuje to komfort obsluhy a nabízí více možností ovládání.

### **2.5.2 Podvozek**

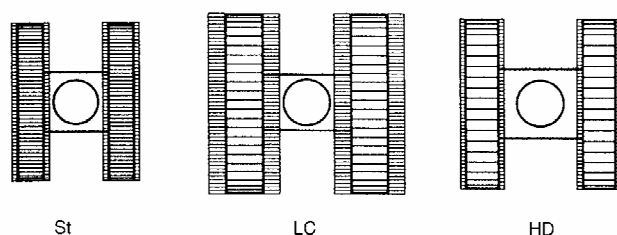
Podvozek zajišťuje mobilitu rypadla. V naprosté většině při použití rypadla není nutné neustále pojíždět strojem. Zatímco podvozek rypadla stojí, rýpací mechanismus uložený na otočné horní stavbě může vykonat pracovní cyklus nabírání zeminy a její uložení na dopravní prostředek.



Obr. 2.3 – Hydraulické rypadlo s pásovým podvozkem



Pásovými podvozky většinou bývají vybaveny stroje větších rozměrů, nebo stroje určené pro terén o nižší únosnosti (obr. 2.3). Únosnost půdy, na níž má stroj pracovat, rozhoduje o výběru šířek opěrných desek pásů, kterým jsou přizpůsobeny druhy pásových podvozků (obr. 2.4). Pásové podvozky jsou různých konstrukcí (opěrné kladky a pásy). Pásky jsou nejčastěji složeny z článkových řetězů. U rypadel malých rozměrů s pásovým podvozkem jsou používány celistvé pryžové pásy.



Obr. 2.4 – Druhy pásových podvozků

Kolové podvozky (obr. 2.5) mají převážně rypadla menších hmotností. Slouží jak k přesunům na pracovišti, tak i k přemísťování po komunikacích, kdy musí vyhovovat podmínkám pro silniční provoz. Nevýhodou kolových podvozků oproti pásovým je menší stabilita stroje. Proto jsou rypadla na kolových podvozcích vybavena teleskopickými opěrnými nohama, které zvýší stabilitu stroje na pracovní pozici. Kolové podvozky rypadel jsou dvounápravové a dají se rozdělit podle počtu řízených náprav. Podvozky se všemi řízenými nápravami jsou obratnější, ale konstrukčně složitější. Typickým zástupcem podvozku s jednou řízenou nápravou jsou takzvané podvozky traktorového typu.



Obr. 2.5 – Hydraulické rypadlo s kolovým podvozkem

Kráčivými podvozky (obr. 2.6) bývají vybaveny rypadla menších a středních hmotností. Podvozek je vybaven dvěma nebo čtyřmi na sobě nezávislými nohami. Každá noha je ovládána přímočarými hydromotory. Nohy jsou také vybaveny nezávislými nápravami, které jsou buď nepoháněné, nebo hydraulicky poháněné. Rypadla vybavena tímto typem podvozku jsou schopna pracovat v terénu, kde stroje s klasickými pásovými a kolovými podvozky není možno použít (srázy, značně nerovný a členitý terén).



Obr. 2.6 – Hydraulické rypadlo s kráčivým podvozkem

Železničním podvozkem (obr. 2.7) jsou vybavena rypadla určená pro stavební a údržbářskou činnost na železnici. V poslední době se pro tuto činnost začali využívat rypadla s takzvaným obojživelným podvozkem. Jedná se o kolový podvozek vybavený spouštěcími pojezdovými železničními koly. Pohon obstarávají pneumatiky třoucí se o kolejnice.



Obr. 2.7 – Hydraulické rypadlo s obojživelným podvozkem

Speciální podvozky, samotné pracovní zařízení nebo zařízení s horní otočnou stavbou, se montují na plavidla. Hydraulická pracovní zařízení rypadlového typu se také montují do výrobních linek (např.: se sbíjecím zařízením pro uvolňování drtiče kamení).

### 2.5.3 Pracovní zařízení

Pracovní zařízení je obvykle upevněno na horní stavbu nebo zavěšeno na rám stroje. Samotný pracovní mechanismus je tvořen výložníkem, násadou, pracovním nástrojem (lopatou), lineárními hydraulickými válci a dodatečnými mechanismy (paralelogramové ústrojí nebo pákový mechanismus ovládání lopaty).

Pracovní zařízením může být:

1. s hloubkovou lopatou (podkopovou)
2. s výškovou lopatou (nakládací)
3. s drapákem a jiným přídatným pracovním nástrojem

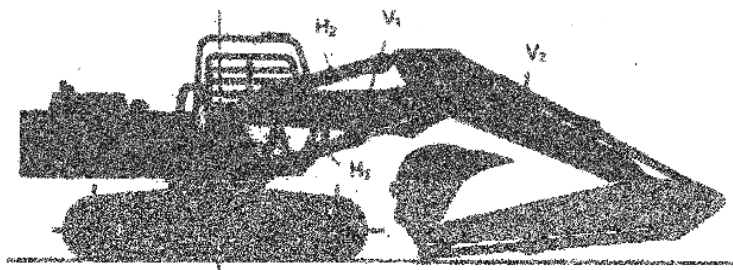
## Výložník

Jednodílný výložník „monoblok“. Výložník je tvořen jedním kusem. Je zhotoven z ocelových plechů a svařen. Mezi přednosti patří velká tuhost a možnost většího zatěžování. Jsou vhodné pro rypadla s hloubkovou nebo výškovou lopatou. Jejich konstrukce je jednodušší a lehčí než u dělených výložníků.

Dělený výložník je nejčastěji složen ze dvou dílů. Změnou jejich vzájemné polohy (zalomení nebo prodloužení) se dá změnit dosah ramene hydraulického lopatového rypadla. Dají se rozdělit na:

- mechanicky přestavitelné – výložník je nutné přestavit před zahájením práce rypadla
- hydraulicky přestavitelné (obr. 2.8) – může měnit tvar výložníku plynule přímo při práci

Díky děleným výložníkům se může stroj upravit na jiný druh práce bez výměny pracovního zařízení.



Obr. 2.8 – Dělený výložník hydraulicky přestavitelný

Speciální výložníky stranově lomené (obr. 2.9). Používají se pro hloubení rýh a kanálů, kdy se výkop provádí mimo opěrnou plochu rypadla a jednoduchý výložník by měl problémy.



Obr. 2.9 – Lomený výložník

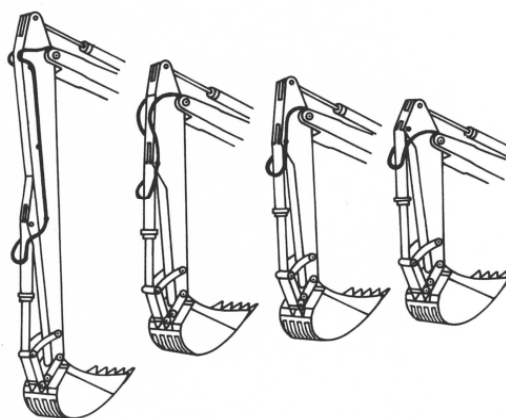
Výložníky pro velké dosahy (obr. 2.10) se používají pro demoliční činnost nebo pro pracovní činnosti vyžadující velké dosahy rypadla (úprava stěn násypů atd...). Tyto výložníky se montují na stroje s pásovým podvozkem zajišťující velkou stabilitu.



Obr. 2.10 – Výložník a násada pro velké dosahy

## Násada

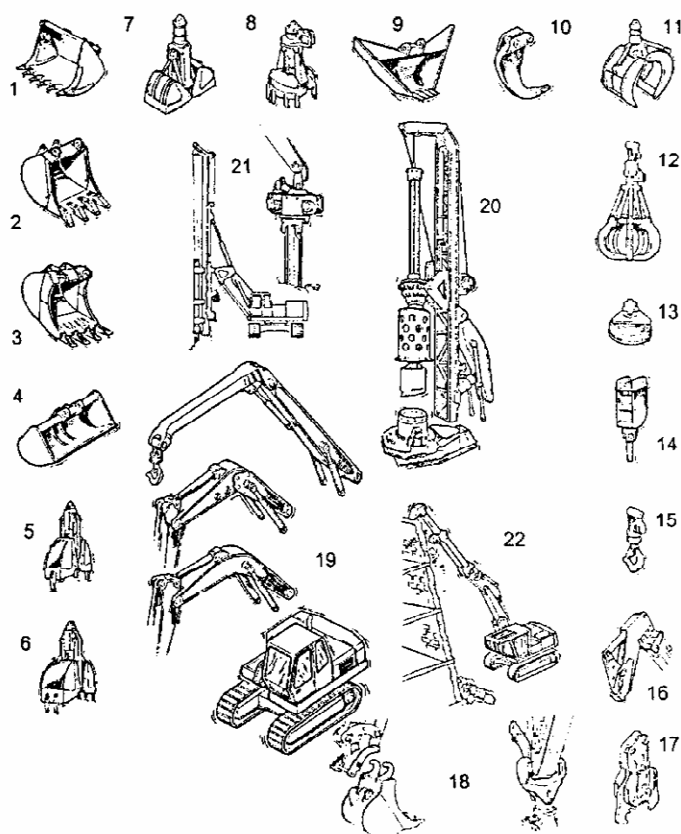
Násada je prodloužená spojnice mezi výložníkem a pracovním nástrojem (lopatou). Násady se vyrábějí různých délek (obr. 2.11). Čím je násada kratší, tím větší rypnou sílu lze vyvodit na zubech lopaty. Výrobci rypadel většinou ke svým výložníkům dodávají násady několika rozdílných délek podle přání zákazníka.



Obr. 2.11 – Sada násad různých délek

## Pracovní nástroje

Hydraulické lopatové rypadlo je vesměs univerzální stavební stroj. Jeho pracovní mechanismus se dá vybavit širokou škálou pracovních nástrojů (obr. 2.12). Základním pracovním nástrojem je lopata v různých podobách.



Obr. 2.12 – Sortiment pracovního zařízení používaný u univerzálních hydraulických rýpadel

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| 1 – nakládací lopata            | 15 – jeřábový hák  |
| 2 – standardní hloubková lopata | 16 – nůžky na železný šrot   |
| 3 – skalní hloubková lopata     | 17 – nůžky na betonové desky   |
| 4 – příkopová lopata            | 18 – rychloupínací mechanismy u lopat  |
| 5 – drenážní drapák             | 19 – základní stroj s různými druhy výložníků a násad                              |
| 6 – standardní čelistový drapák | 20 – zařízení pro velkopřůměrové vrtání s mechanismem pro natáčení pažnicové roury |
| 7 – vykládací drapák            | 21 – zařízení pro beranění a vytahování pažnic                                     |
| 8 – kruhový drapák              | 22 – zařízení pro bourání zdiva  |
| 9 – profilová lopata            |  |
| 10 – rozrývací trn              |  |
| 11 – drapák na dřevo            |  |
| 12 – polypový drapák            |  |
| 13 – magnetická deska           |  |
| 14 – hydraulické kladivo        |  |

## **Hloubková lopata**

Je bezesporu hlavním pracovním nástrojem hydraulických rypadel. Tvar a velikost je různá od druhu stroje, druhu práce a těženého materiálu.

- standardní lopaty – univerzální. Tyto lopaty lze využít jak na hloubkovou, tak i na výškovou těžbu.
- skalní – bývají asi o 20% menší než standardní lopaty. Zuby mívají vyrobeny z manganových ocelí. Používají se pro nakládání rozpojených hornin.
- drážkovací a drenážní – pro drenážní a drážkovací práce ve středních a lehkých zeminách.
- čistící a příkopové – tyto lopaty mohou být bez zubů. Pro hloubení drážek a čistící práce.

## **Výšková lopata**

Je určena na práce nad terénem. Univerzální lopata lze otočit a takto ji použít pro výškovou těžbu. Výškové těžení je méně silově výhodné než těžení hloubkové. Výškové lopaty bývají dělené, kdy je otvírání lopaty zajišťováno hydromotorem. Toto vyprazdňování je rychlejší než vyklápění celé lopaty.

## **Drapák**

Drapák se dá vyměnit místo lopaty. Je ovládán hydraulicky.

- standardní dvoučelistový drapák pro hloubení výkopů
- úzkoprofilový dvoučelistový
- drapák na dřevo
- vidlový dvoučelistový
- polipový

## 2.6 Teorie návrhu pracovního zařízení

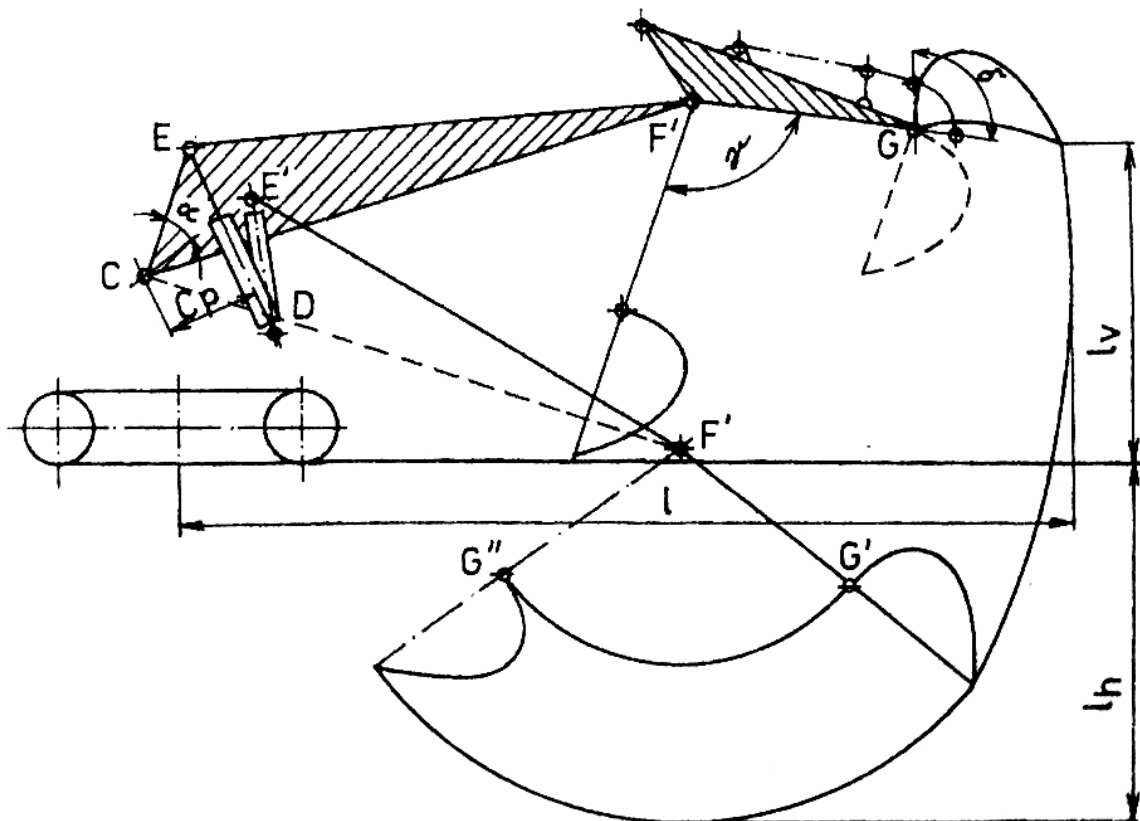
Správná volba pracovního mechanismu je důležitá pro maximální výkonnost, užitnost stroje. S tím související ekonomičnost provozu.

Jedním z hlavních posuzovacích hledisek schopností stroje je konstrukční uspořádání pracovního mechanismu. Umístění hydromotorů, zdvih výložníku.

Hydraulická rypadla se dají podstatě rozdělit na rypadla s výložníkem podepřeným a výložníkem zavěšeným.

Tyto dvě rozdělení se dají rozdělit na:

1. S výložníkem podepřeným (obr. 2.13), dosahuje se velkého úhlu výkyvu výložníku (až  $90^\circ$ ). Tzn., že při dané výšce výsypu lze dosáhnout i značné hloubky výkopu.

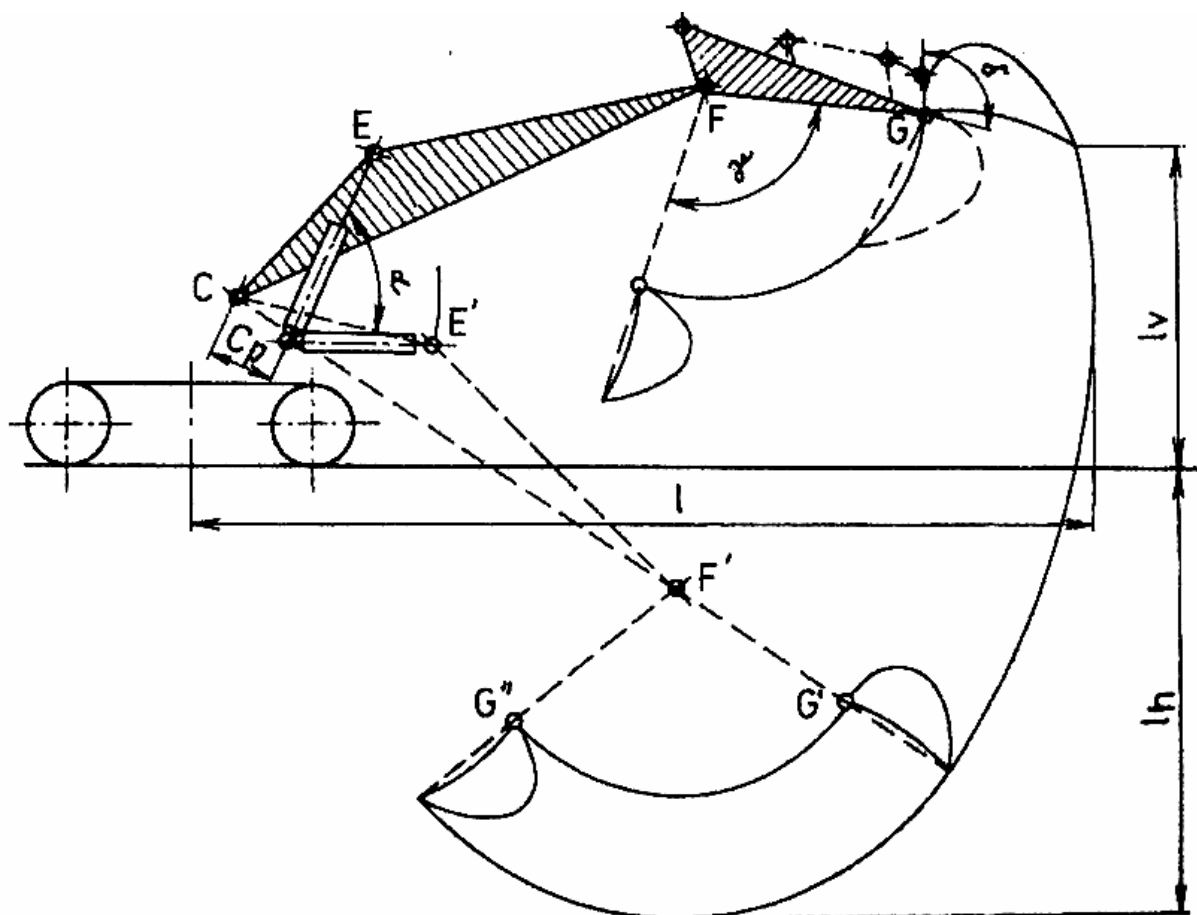


Obr. 2.13 - Podepřený výložník s hydromotorem zdvihu, odkloněným od osy stroje



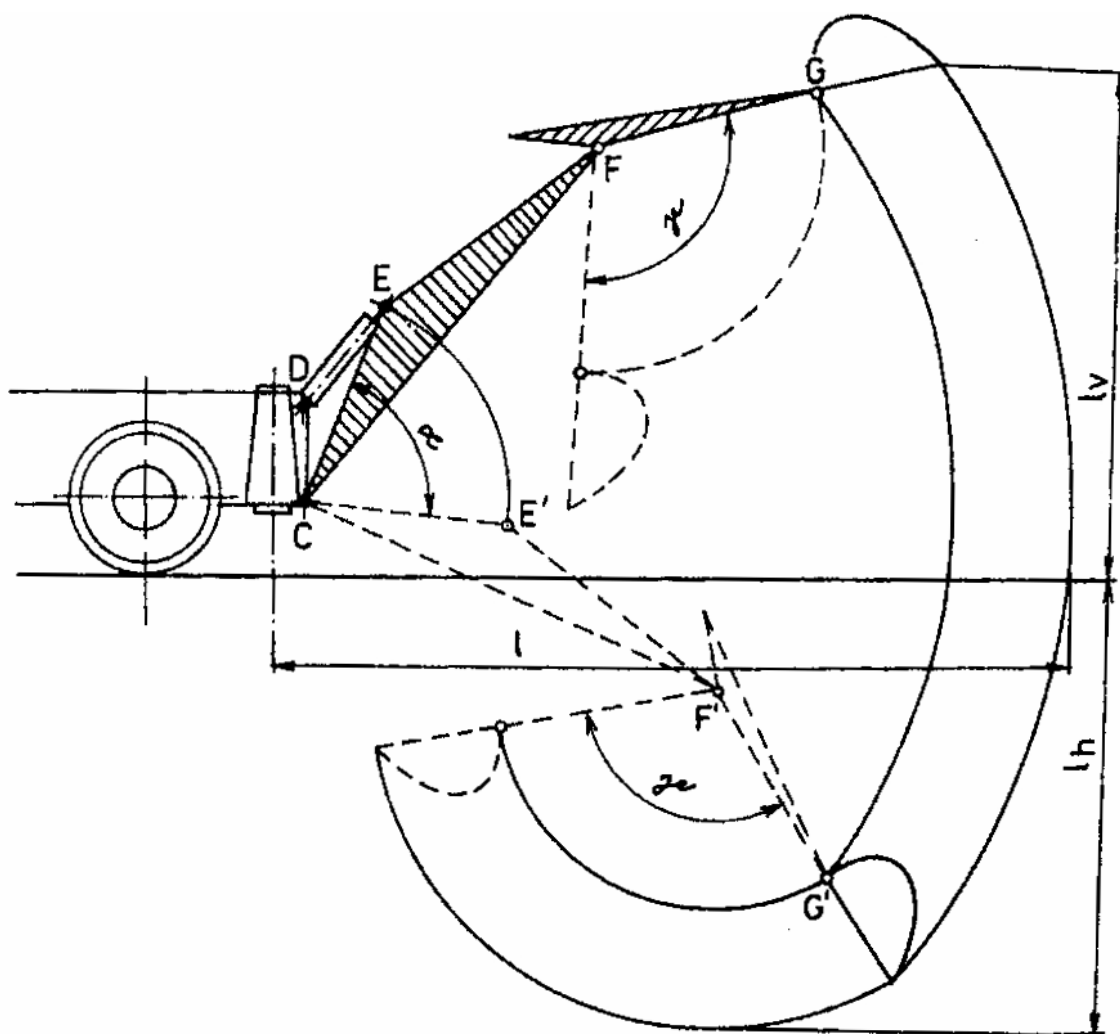
2. S výložníkem podepřeným k ose (obr. 2.14), při stejném vodorovném a výškovém dosahu jako

u předchozího uspořádání je hloubkový dosah menší. Ale rameno je zdvihové a tím i síly jsou větší. Při stejném výkonu hydraulického systému se dosahuje vyšších rypných sil (vhodné pro těžší stroje a do hůře rozpojitelných hornin).



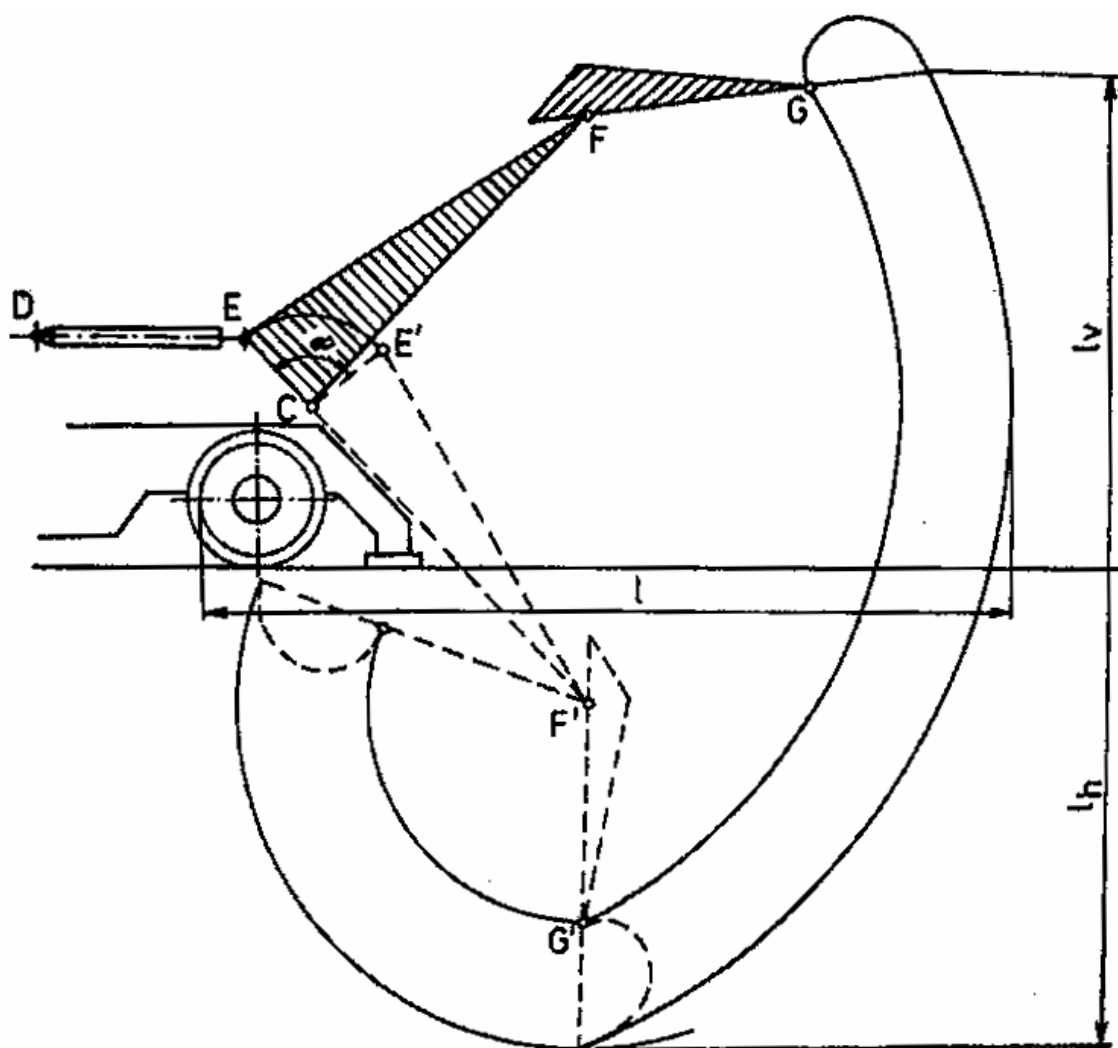
Obr. 2.14 - Podepřený výložník s hydromotorem zdvihu, přikloněným k ose stroje

3. Se zavěšeným výložníkem (obr. 2.15). Toto uspořádání je nejčastější u rypadel umístěných na traktorových podvozcích (univerzální stavební stroje – rypadlonakladače). Pracovní mechanismus bývá vybaven i stranovým pojezdem rýpacího zařízení podél příčné osy stroje.



Obr. 2.15 - Zavěšený výložník

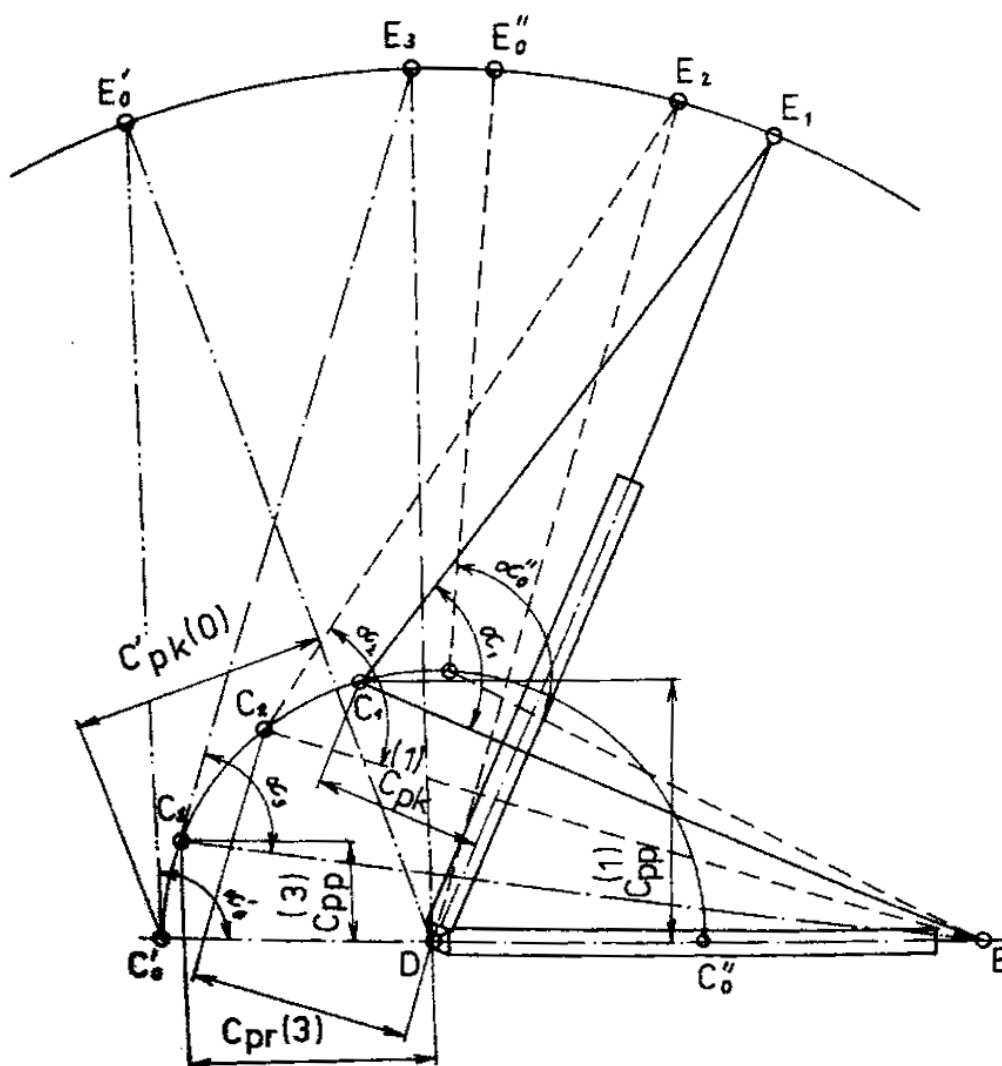
4. S pákovým zavěšeným systémem (obr 2.16). Tento mechanismus vyžaduje odlišný tvar výložníku. Je lomený a ve spodní části spojen s hydromotorem zdvihu. Dosahuje se značného úhlu rozevření výložníku, pokud je podvozek stroje vhodně upraven.



Obr. 2.16 - Zavěšený výložník, pákový systém

Vhodnou volbu polohy závěsu výložníku C je třeba určit podle druhu rýpadla (obr. 2.17). Všeobecně platí zásady:

- univerzální rýpadla by měla mít závěs výložníku umístěn tak, aby se v průběhu zdvihu výložníku rameno  $c_p$  příliš neměnilo (poloha mezi body  $C_2$  a  $C_3$ , blíže bodu  $C_2$ ),
- pro rýpadla s hloubkovou lopatou je nejvhodnější poloha závěsu výložníku poblíž  $C_1$  (dostatečně velké rameno  $c_p$  i v nižších polohách výložníku),
- pro rýpadla s výškovou lopatou je ze stejného hlediska výhodnější navrhnout závěs výložníku poblíž bodu  $C_3$  [2].

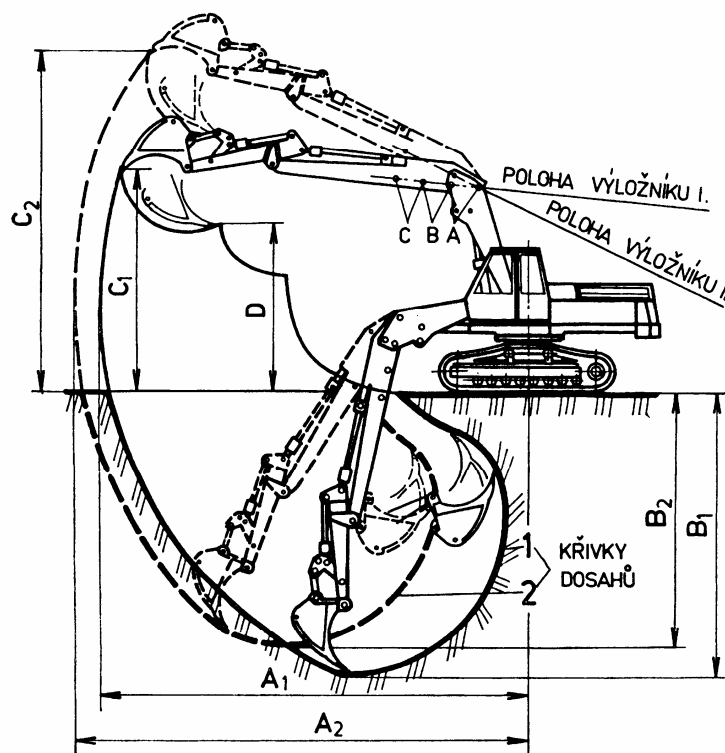


Obr. 2.17 - Schéma k volbě parametrů pracovního zařízení

Výložník je ovládán přímočarými hydromotory výložníku. Násada je ovládána přímočarým hydromotorem násady. Pracovní nástroj je také ovládán vlastním přímočarým hydromotorem.

## 2.7 Hlavní technologické údaje rypadel

Technologické údaje charakterizují pracovní zařízení, jeho činnost, síly a dráhy. U lopatového rypadla jsou to hlavně dosahy zubů lopaty (obr. 2.18) po tzv. záběrové dráze, jejíž velikost je omezena délkou a postavením výložníku  $V$  (u děleného  $V_1$  a  $V_2$ ) a délkou násady. Jednotlivé záběrové dráhy jsou dány přestavením děleného výložníku jednak v otvorech výložníku  $V_2$  a jednak do 2 poloh otvorů na výložníku  $V_1$ .



Obr. 2.18 – Hlavní technologické údaje hydraulických rypadel

Dalšími technologickými údaji jsou síly na zubech lopaty vyvolané hydromotory (tzv. rypná a vylamovací síla) a přepravní parametry rypadla. Pásová rypadla do 4. velikostní třídy jsou přepravována ve smontovaném stavu na valnících a podvalnících (trajlerech) nebo po železnici.

## **2.8 Malotraktory**

Jedná se o malé univerzální zemní stroje vhodné zejména pro zemědělské a sadařské práce. Není výjimkou je spatřit při údržbě měst, komunikací a zeleně. Používají se na stísněných místech, kde by větší technika měla problémy manévrovat nebo kde by velké stroje zkrátka překážely. Konstrukčně se příliš neliší od větších traktorů, pokud se tedy nejedná přímo o specializované samohybné sekačky. Díky široké paletě přídatných zařízení se z nich stává multifunkční zařízení.

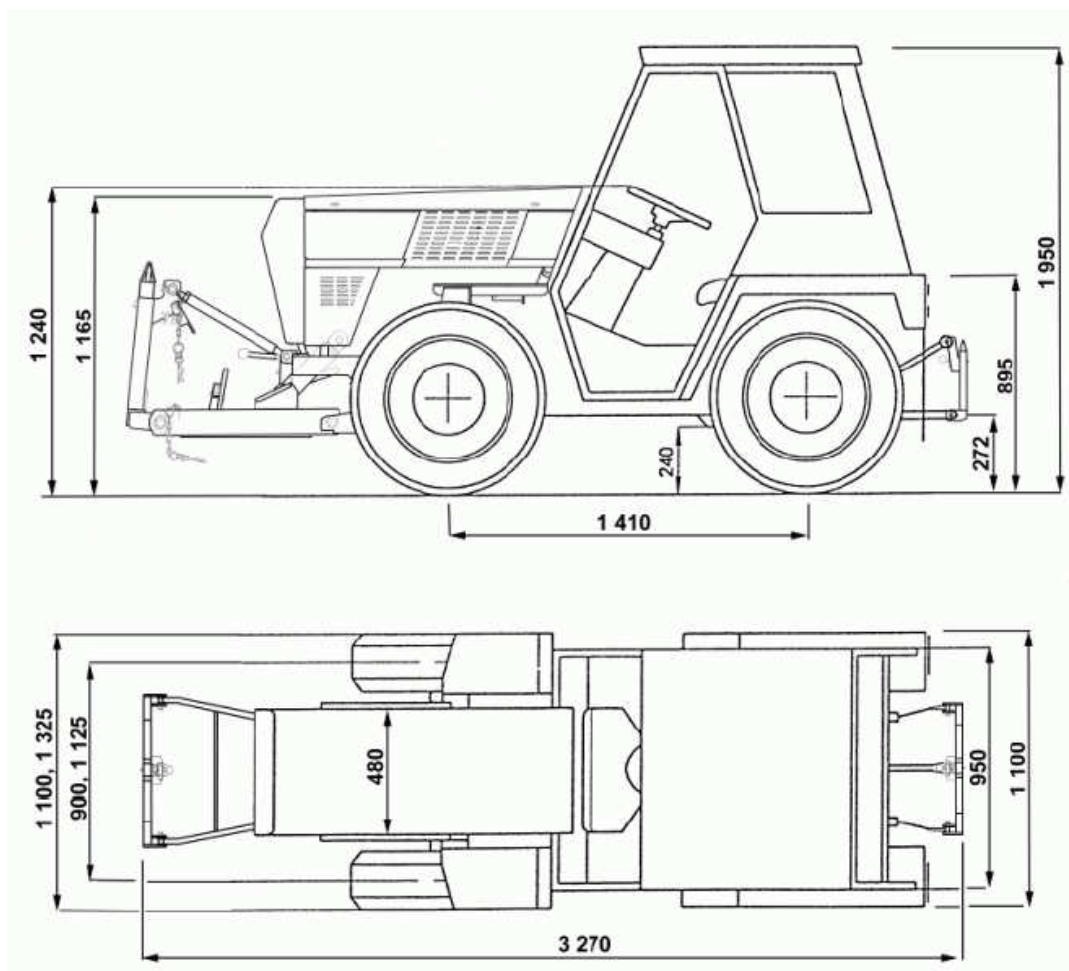
### **2.8.1 Malotraktor řady W5000 YUKON**

Malotraktor typu W5000 (obr. 2.19) je určen pro práci na obtížně dostupných a malých plochách, zelinářství, vinařství, sadařství, školkařství, v komunálních a stavebních provozech a vnitropodnikové přepravě. Malotraktor je samostatná energetická jednotka pro přídatná pracovní zařízení [5].

Jedná se o dvounápravový kolový malotraktor z přední říditelnou nápravou a pohonem všech kol. Malotraktor je vybaven předním a zadním tříbodovým závěsným systémem ovládaným hydraulicky a předním a zadním výstupním hřídelem. Stroj je dále vybaven předním závěsným rámem určeným pro uchycení čelního nakladače.

Malotraktor je vybaven motorem LOMBARDINI. Jedná se o vznětový čtyřdobý 4 válec chlazený kapalinou o maximálním výkonu 34 kW.

YUKON je vybaven třemi samostatnými hydraulickými okruhy. První obstarává zadní tříbodový závěs (vnitřní okruh). Druhým se ovládá přední tříbodový závěs (1. vnější přední okruh). Třetí slouží k zajištění chodu přídatných pracovních zařízení (2. vnější přední a zadní okruh).



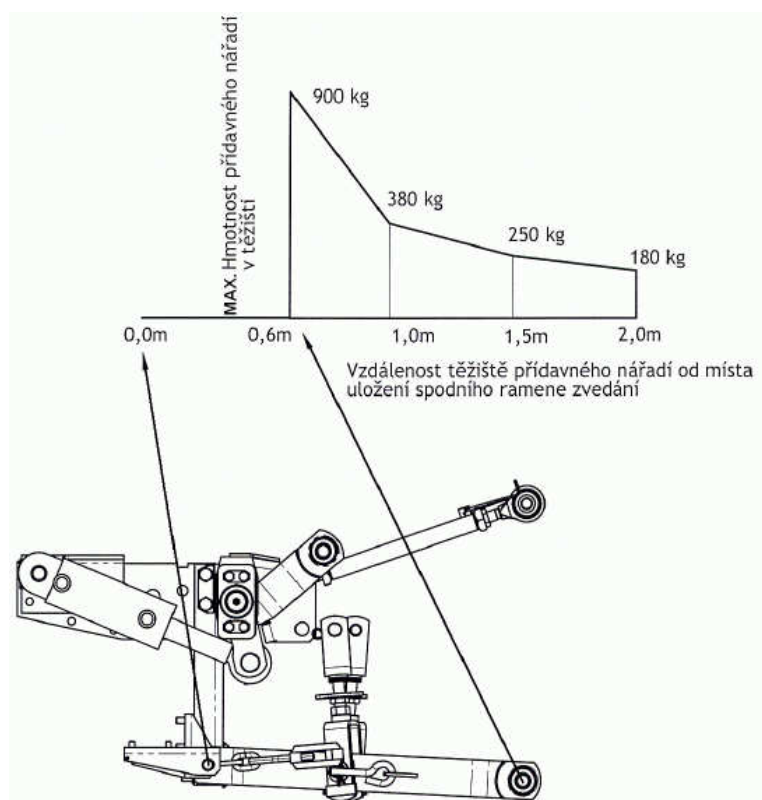
Obr. 2.19 – Malotraktor řady W5000 YUKON

### 3. Definice úkolu a směr jeho řešení

Úkolem mé diplomové práce je navrhnout konstrukční řešení podkopového stroje pro agregaci k malotraktoru řady W5000 YUKON s kapalinou chlazeným motorem o výkonu 34 kW, rozchodem kol 1325 mm, rozvorem 1410 mm hydraulickým obvodem a hmotností 1560 kg.

Firma Wiskonsin již nabízí podkopový stroj, ale to se jedná o výrobky dvou jiných zahraničních firem.

Podkopový stroj je určen pro připojení na zadní tříbodový závěs (obr. 3.1). Má být vybaven vlastním hydraulickým obvodem včetně hydrogenerátoru a ovládání. Pro nedostatek místa v kabině řidiče musí být podkopový stroj také vybaven stanovištěm obsluhy (sedačka a ovládací prvky). Podkopový stroj je určen pro drobnější výkopové práce. Jak ve stavebnictví tak v komunálních a zemědělských činnostech.



Obr. 3.1 – Graf závislosti zvedací síly zadního závěsu na vyložení těžiště přídavného nářadí



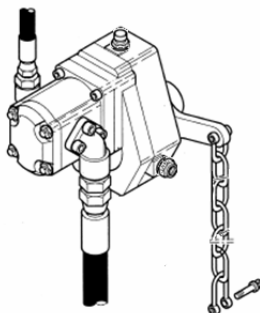
Konstrukční řešení dostupná na trhu se od sebe příliš neliší. Patrně z důvodu jednoduchosti konstrukce a dnes dostupné hydraulické technologii. Pokud pomineme hmotnostní a těžební rozlišení. Jedná se zpravidla o stroje skládající se několika hlavních konstrukčních celků:

- Nosného rámu se stavitelnými podpěrami. Na rám je připevněno pracovní zařízení s jedním stupněm volnosti. Některé rámy dovolují pracovnímu mechanismu i stranový pojezd rýpacího zařízení podél příčné osy stroje.
- Nosný a pojezdový rám výložníku (horní stavba). Pata výložníku je upevněna na čepu (ten je umístěn na horní otočné části rýpadla). Dovoluje natáčení pracovního zařízení a je ovládán jedním nebo dvěma přímočarými hydromotory. Výložník je v ní ukotven a držen hydraulickým přímočarým motorem, který ovládá zdvih výložníku. Popřípadě může pojíždět po nosném rámu podkopového rýpadla. A to buď pomocí hydromotorů nebo manuálně.
- Výložník. Bývá svařované skříňové konstrukce. Je na něm ukotven přímočarý hydromotor ovládající pohyb násady.
- Násada. Také bývá svařované skříňové konstrukce jako výložník. Je na ní ukotven přímočarý hydromotor ovládající pákový mechanismus pracovního nástroje a pracovní nástroj.
- Pracovní nástroj (lopata). Hydraulické přídatné podkopové rýpadla jsou univerzální pracovní mechanismy, na které se dá připojit široká škála pracovních nástrojů (háček, hydraulické kladivo, drapák adt...). Ale hlavním zůstává rýpací lopata.

Můj konstrukční návrh je zaměřen zejména na rameno stroje (výložník, násada). Pro návrh ramene jsem musel zvolit ovládací hydromotory. Proto jsem také musel zvolit parametry hydrogenerátoru a systém ovládání.

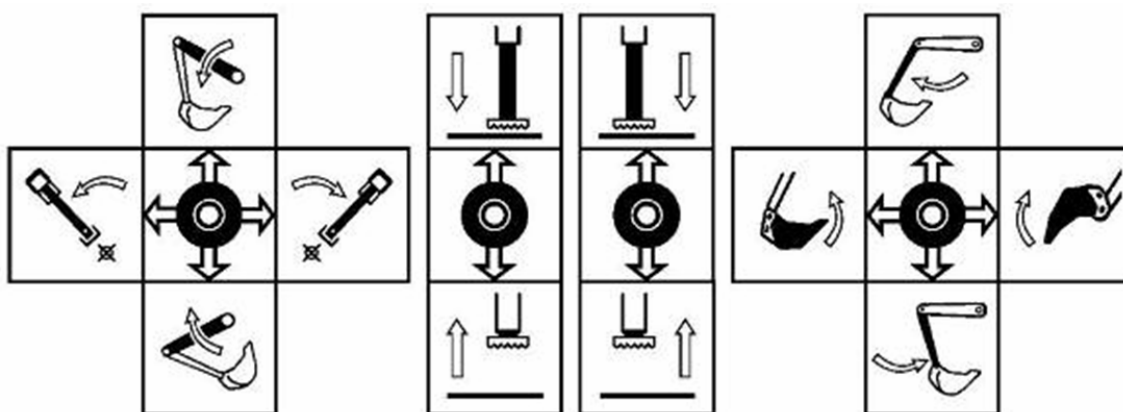
Požadavkem firmy bylo, aby podkopový stroj měl vlastní hydraulický obvod. Pro podkopový stroj jsem zvolil hydrogenerátor, který se upevní na traktor a jeho pohon

bude obstarávat zadní vývodový hřídel traktoru (obr. 3.2). Hydrogenerátor dodá hydraulickému obvodu průtok 9 l/min a tlak 16 MPa.



Obr. 3.2 – Hydrogenerátor pro přídatný podkopový stroj

Řídící rozvaděč se skládá ze 6 elementů. Rameno rypadla je ovládáno pomocí dvou čtyřsměrných pák (obr. 3.3). Každá stabilizační noha je ovládána samostatnou dvousměrnou pákou.



Obr. 3.3 – Schéma ovládání rypadla

Hydromotory jsem zvolil průměr pístu 50 mm a pístnice 30 mm. Pro ovládání výložníku, násady i lopaty jsou hydromotory totožné.

## 4. Výpočty

### 4.1 Určení rypné síly

Pracovní tlak hydromotorů – 16 Mpa

Maximální tlak hydromotorů – 18 MPa

Výpočet síly v hydromotoru :

$$F_s = p \cdot S \cdot \eta_c = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \cdot p \cdot \eta_c \quad (1)$$

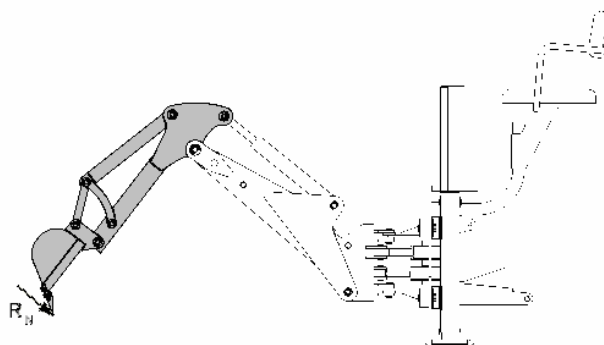
$$F_s = \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} \cdot 18000000 \cdot 0,9 = 31808,62 N$$

kde:  $p$  – pracovní tlak v hydraulickém obvodu

$d_s$  – průměr přímočarého hydromotoru

$\eta_c$  - účinnost hydromotoru

Rypná síla násady (obr. 4.1):



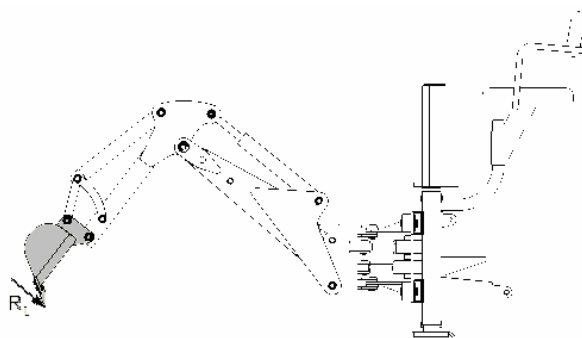
Obr. 4.1 – Rypná síla násady

$$R_N = \frac{F_s \cdot a_n}{b_n} = \frac{31808,62 \cdot 190}{905} = 6678,05 N = 6,7 kN \quad (2)$$

kde:  $a_n$  – rameno síly hydromotoru násady vzhledem k úchytu násady na výložník

$b_n$  – rameno rypné síly vzhledem k úchytu násady na výložník

Rypná síla lopaty (obr. 4.2):



Obr. 4.2 – Rypná síla lopaty

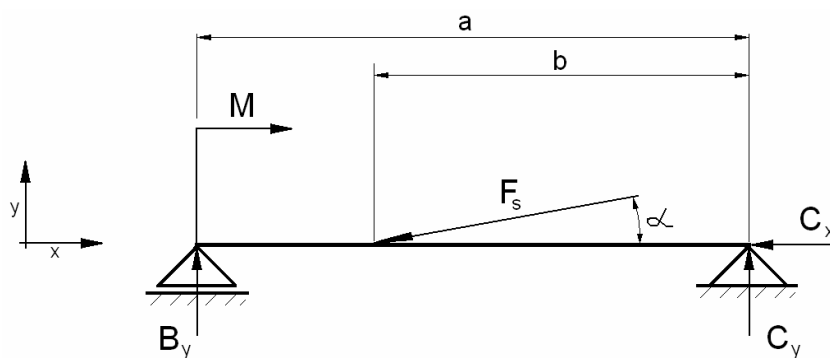
$$R_L = \frac{F_S \cdot a_l}{b_l} = \frac{31808,62 \cdot 210}{362} = 18452,51N = 18kN \quad (3)$$

kde:  $a_l$  – rameno síly hydromotoru lopaty vzhledem k úchyty lopaty

$b_l$  – rameno rypné síly vzhledem k úchyty lopaty

#### 4.2 Určení reakcí v čepích (obr.4.3)

Čep 1 – uchycení výložníku



Obr. 4.3 – zatížení čepu 1

Moment od rypné síly násady:

$$M = R_N \cdot b_n = 6678,05 \cdot 0,905 = 6043,63N \cdot m \quad (4)$$

$$\Sigma F_{ix} = 0 \quad -F_S \cdot \cos \alpha - C_x = 0 \quad (5)$$

$$\Sigma F_{iy} = 0 \quad -F_S \cdot \sin \alpha + B_y + C_y = 0 \quad (6)$$

$$\Sigma M_{iC} = 0 \quad -M - B_y \cdot f + F_S \cdot \sin \delta \cdot h = 0 \quad (7)$$

$$C_x = -F_S \cdot \cos \delta = -31808,62 \cdot \cos 10^\circ = -31325,37 N \quad (8)$$

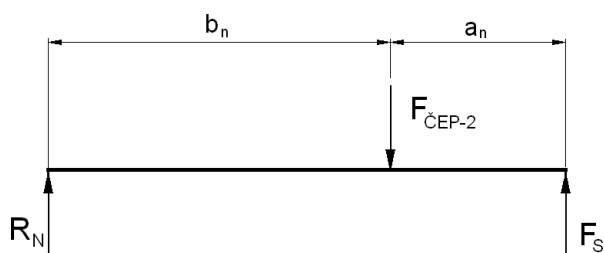
$$B_y = \frac{-M + F_S \cdot \sin \alpha \cdot h}{f} = \frac{-6043,63 + 31808,62 \cdot \sin 10^\circ \cdot 642}{896} = 3950,95 N \quad (9)$$

$$C_y = F_S \cdot \sin \alpha - B_y = 31808,62 \cdot \sin 10^\circ - 3950,95 = 1572,56 N \quad (10)$$

Největší síla na čep-1 byla vyšetřena na reakci  $C_x = F_{\check{C}EP-1} = 31325 N$

#### Čep 2- uchycení násady

Z rypné síly násady a maximální síly hydromotoru ovládací násadu vyplývá maximální zatěžující síla čepu násady (obr. 4.4).

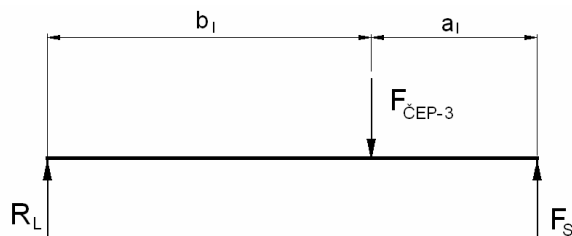


Obr. 4.4 – Vyšetření síly v čepu násady

$$F_{\check{C}EP-2} = F_S + R_N = 31808,62 + 6678,05 = 38486,67 N \quad (11)$$

### Čep 3 – uchycení lopaty

Z rypné síly lopaty a maximální síly hydromotoru ovládací lopatu vyplívá maximální zatěžující síla čepu lopaty (obr.4.5).



Obr. 4.5 – Vyšetření síly v čepu lopaty

$$F_{\check{C}EP-3} = F_S + R_L = 31808,62 + 18452,51 = 50261,13N \quad (12)$$

Největší zatěžovací síla může vzniknout na čepu lopaty, proto se bude počítat s touto silou ( $F$ ) i u čepu násady a výložníku.

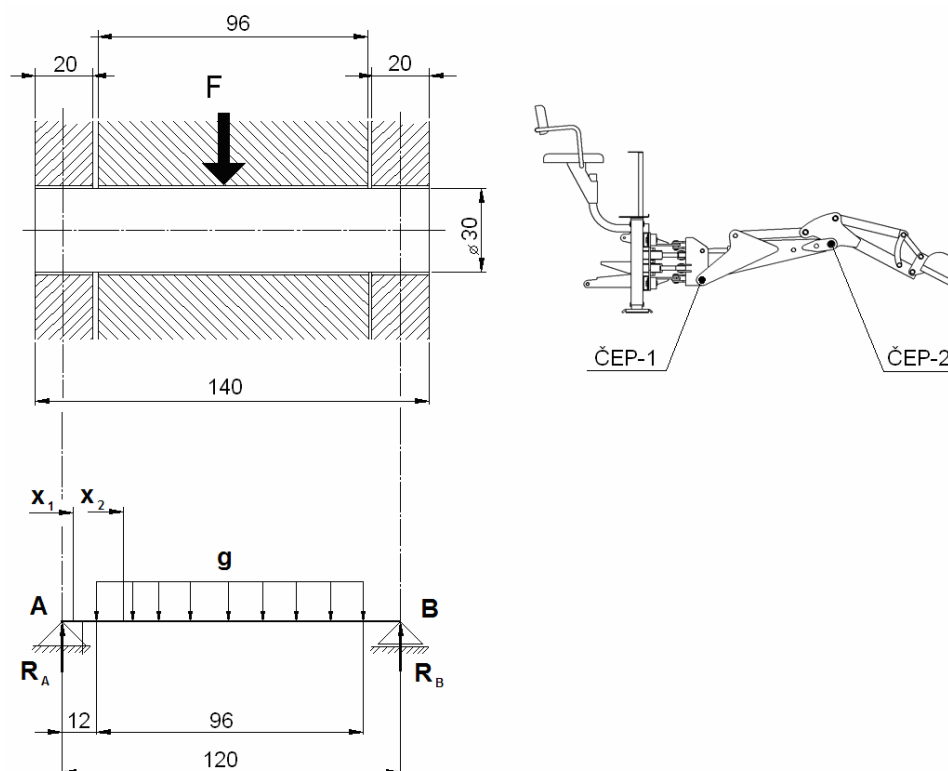
### 4.3 Kontrola čepového spojení

Kontrola čepového spojení ČEP-1 a ČEP-2

Čepy výložníku a násady jsou totožné (obr.4.6).

Materiál čepů 15 241.3  $\Rightarrow R_e = 981 \cdot 10^6 \text{ Pa}$  [3]

$$p_{dov} = 260 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$



Obr. 4.6 – Rozložení sil při zatížení čepu 1 a 2

Zatěžující síla:

$$F = 50261,13 \text{ N}$$

Spojitě zatížení:

$$q = \frac{F}{L} = \frac{50261,13}{96 \cdot 10^{-3}} \quad (13)$$

$$q = 523553,44 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Reakce v bodě A:

$$R_A = \frac{q \cdot L \cdot \frac{L_c}{2}}{L_c} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 523553,44 \cdot (96 \cdot 10^{-3}) \quad (14)$$

$$R_A = 25130,57 N$$

Reakce v bodě B:

$$R_B = q \cdot L - R_A = 523553,44 \cdot (96 \cdot 10^{-3}) - 25130,57 \quad (15)$$

$$R_B = 25130,57 N$$

Průběh ohybového momentu:

$$M_{O1} = R_A \cdot x_1 = 25130,57 \cdot (12 \cdot 10^{-3}) \quad (16)$$

$$x_{1MAX} = 12 \cdot 10^{-3} m$$

$$M_{O1} = 301,57 N \cdot m$$

$$M_{O2} = R_A \cdot (x_{1MAX} + x_2) - q \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} \quad (17)$$

$$M_{O2} = 25130,57 \cdot ((12 \cdot 10^{-3}) + (48 \cdot 10^{-3})) - 523553,44 \cdot (48 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{48 \cdot 10^{-3}}{2}$$

$$x_{2MAX} = 48 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{O2} = 904,7 N \cdot m$$

$$M_{OMAX} = M_{O2}$$

$$M_{OMAX} = 904,7 N \cdot m$$

Modul průřezu v ohybu:

$$W_{Omax} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot (30 \cdot 10^{-3})^3}{32} \quad (18)$$

$$W_{Omax} = 2,65 \cdot 10^{-6} m^3$$



Výpočet maximálního ohybového napětí:

$$\sigma_{O \max} = \frac{M_{O \max}}{W_O} = \frac{904,7}{2,65 \cdot 10^{-6}} \quad (19)$$

$$\sigma_{O \max} = 341 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Výpočet maximálního dovoleného ohybového napětí:

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{1,3} \cdot 0,7 = \frac{981 \cdot 10^6}{1,3} \cdot 0,7 \quad (20)$$

$$\sigma_{dov} = 528 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Bezpečnost:

$$K = \frac{\sigma_{dov}}{\sigma_{O \max}} = \frac{528 \cdot 10^6}{341 \cdot 10^6} \quad (21)$$

$$K = 1,5$$

Otlačení čepu:

$$p_{\check{c}} = \frac{F}{S} = \frac{50261,13}{1,2 \cdot 10^{-3}} \quad (22)$$

$$S = d \cdot b \cdot 2 = (30 \cdot 10^{-3}) \cdot (20 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 \quad (23)$$

$$d = \varnothing d$$

$$S = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$p_{\check{c}} = 42 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$p_{\check{c}} \leq p_{dov} \quad (24)$$

Střih čepu:

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{50261,13}{7,1 \cdot 10^{-4}} \quad (25)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (30 \cdot 10^{-3})^2}{4} \quad (26)$$

$$S = 7,1 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\tau_s = 71 \cdot 10^6 Pa$$

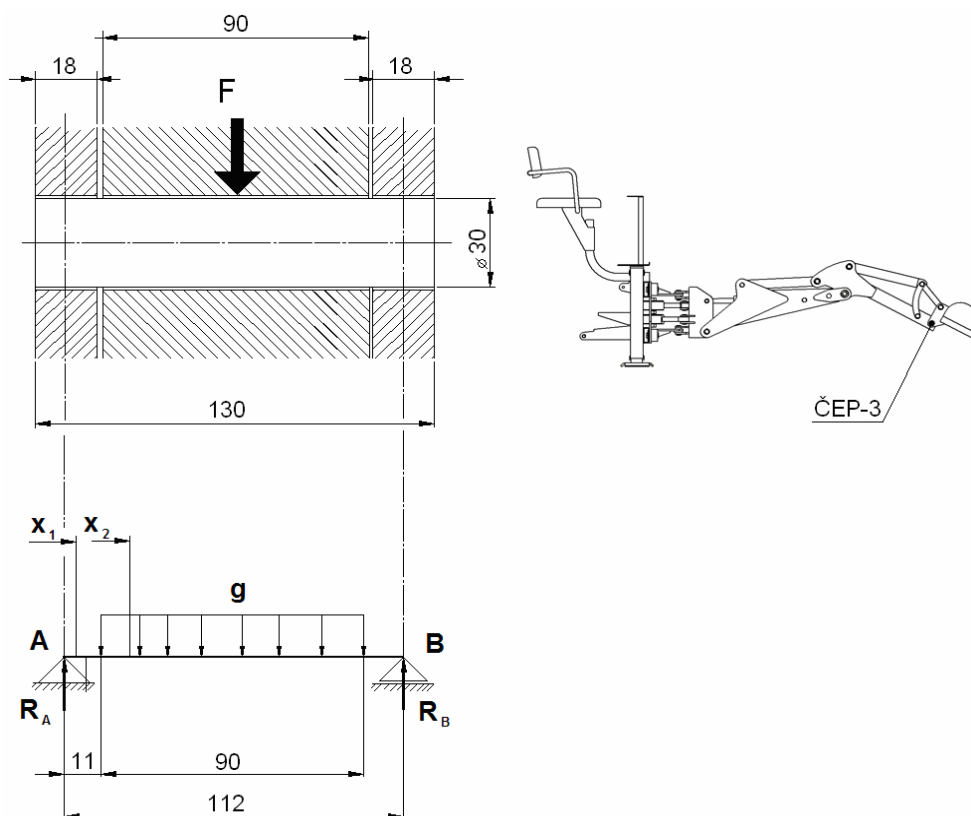
$$\tau_s \leq p_{dov} \quad (27)$$

### Kontrola čepového spojení ČEP-3 (obr. 4.7)

Materiál čepů 15 241.3  $\Rightarrow R_e = 981 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

$$p_{dov} = 260 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Čepové spojení mezi nasadou a lopatou



Obr. 4.7 – Rozložení sil při zatížení čepu upevnění lopaty

Zatěžující síla:

$$F = 50261,13 \text{ N}$$

Spojitě zatížení:

$$q = \frac{F}{L} = \frac{50261,13}{90 \cdot 10^{-3}} \quad (28)$$

$$q = 558457 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Reakce v bodě A:

$$R_A = \frac{q \cdot L \cdot \frac{L_c}{2}}{L_c} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 558457 \cdot (90 \cdot 10^{-3}) \quad (29)$$

$$R_A = 25130,57 N$$

Reakce v bodě B:

$$R_B = q \cdot L - R_A = 558457 \cdot (90 \cdot 10^{-3}) - 25130,57 \quad (30)$$

$$R_B = 25130,57 N$$

Průběh ohybového momentu:

$$M_{O1} = R_A \cdot x_1 = 25130,57 \cdot (11 \cdot 10^{-3}) \quad (31)$$

$$x_{1MAX} = 11 \cdot 10^{-3} m$$

$$M_{O1} = 276,44 N \cdot m$$

$$M_{O2} = R_A \cdot (x_{1MAX} + x_2) - q \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} \quad (32)$$

$$M_{O2} = 25130,57 \cdot ((11 \cdot 10^{-3}) + (45 \cdot 10^{-3})) - 558457 \cdot (45 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{45 \cdot 10^{-3}}{2}$$

$$x_{2MAX} = 45 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{O2} = 841,87 N \cdot m$$

$$M_{OMAX} = M_{O2}$$

$$M_{OMAX} = 841,87 N \cdot m$$

Modul průřezu v ohybu:

$$W_{Omax} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot (30 \cdot 10^{-3})^3}{32} \quad (33)$$

$$W_{Omax} = 2,65 \cdot 10^{-6} m^3$$

Výpočet maximálního ohybového napětí:

$$\sigma_{O \max} = \frac{M_{O \max}}{W_O} = \frac{841,87}{2,65 \cdot 10^{-6}} \quad (34)$$

$$\sigma_{O \max} = 318 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Výpočet maximálního dovoleného ohybového napětí:

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{1,3} \cdot 0,7 = \frac{981 \cdot 10^6}{1,3} \cdot 0,7 \quad (35)$$

$$\sigma_{dov} = 528 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Bezpečnost:

$$K = \frac{\sigma_{dov}}{\sigma_{O \max}} = \frac{528 \cdot 10^6}{318 \cdot 10^6} \quad (36)$$

$$K = 1,6$$

Otlačení čepu:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{50261,13}{1,08 \cdot 10^{-3}} \quad (37)$$

$$S = d \cdot b \cdot 2 = (30 \cdot 10^{-3}) \cdot (18 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 \quad (38)$$

$$d = \varnothing d$$

$$S = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$p = 46,54 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$p \leq p_{dov} \quad (39)$$

Střih čepu:

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{50261,13}{7,07 \cdot 10^{-4}} \quad (40)$$

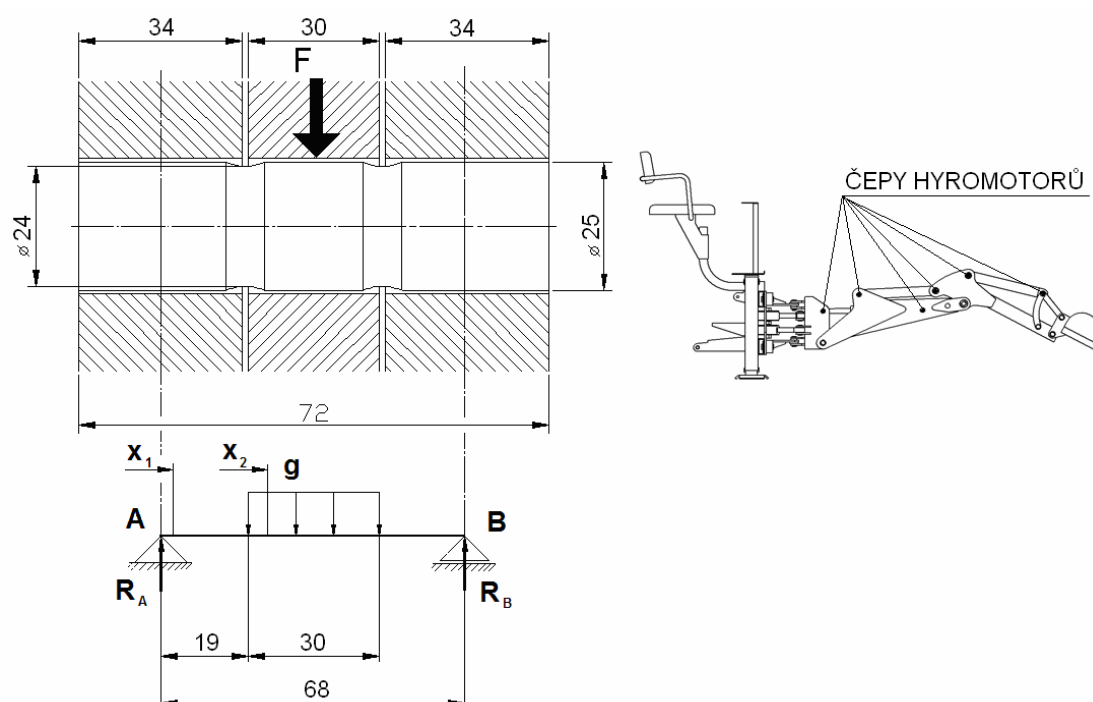
$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (30 \cdot 10^{-3})^2}{4} \quad (41)$$

$$S = 7,07 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\tau_s = 71,1 \cdot 10^6 Pa$$

$$\tau_s \leq p_{\text{dov}} \quad (42)$$

## Kontrola čepového spojení hydromotorů



Obr. 4.8 – Rozložení sil při zatížení čepu upevnění hydromotoru

Zatěžující síla:

$$F_s = 31808,62 \text{ N}$$

Spojité zatížení:

$$q = \frac{F_s}{L} = \frac{31808,62}{30 \cdot 10^{-3}} \quad (43)$$

$$q = 1060287,33 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Reakce v bodě A:

$$R_A = \frac{q \cdot L \cdot \frac{L_c}{2}}{L_c} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 1060287,33 \cdot (30 \cdot 10^{-3}) \quad (44)$$

$$R_A = 15904,31 \text{ N}$$

Reakce v bodě B:

$$R_B = q \cdot L - R_A = 1060287,33 \cdot (30 \cdot 10^{-3}) - 15904,31 \quad (45)$$

$$R_B = 15904,31 N$$

Průběh ohybového momentu:

$$M_{O1} = R_A \cdot x_1 = 15904,31 \cdot (17 \cdot 10^{-3}) \quad (46)$$

$$x_{1MAX} = 17 \cdot 10^{-3} m$$

$$M_{O1} = 270,37 N \cdot m$$

$$M_{O2} = R_A \cdot (x_{1MAX} + x_2) - q \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2} \quad (47)$$

$$M_{O2} = 15904,31 \cdot ((17 \cdot 10^{-3}) + (15 \cdot 10^{-3})) - 1060287,33 \cdot (15 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{15 \cdot 10^{-3}}{2}$$

$$x_{2MAX} = 15 \cdot 10^{-3} m$$

$$M_{O2} = 389,65 N \cdot m$$

$$M_{OMAX} = M_{O2}$$

$$M_{OMAX} = 389,65 N \cdot m$$

Modul průřezu v ohybu:

$$W_{Omax} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot (24 \cdot 10^{-3})^3}{32} \quad (48)$$

$$W_{Omax} = 1,3 \cdot 10^{-6} m^3$$

Výpočet maximálního ohybového napětí:

$$\sigma_{Omax} = \frac{M_{Omax}}{W_O} = \frac{389,65}{1,3 \cdot 10^{-6}} \quad (49)$$

$$\sigma_{Omax} = 299,7 \cdot 10^6 Pa$$



Výpočet maximálního dovoleného ohybového napětí:

$$\sigma_{\text{dov}} = \frac{R_e}{1,3} \cdot 0,7 = \frac{981 \cdot 10^6}{1,3} \cdot 0,7 \quad (50)$$

$$\sigma_{\text{dov}} = 528 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Bezpečnost:

$$K = \frac{\sigma_{\text{dov}}}{\sigma_{O \text{ max}}} = \frac{528 \cdot 10^6}{299,7 \cdot 10^6} \quad (51)$$

$$K = 1,8$$

Otlačení čepu:

$$p = \frac{F_s}{S} = \frac{31808,62}{1,6 \cdot 10^{-3}} \quad (52)$$

$$S = d \cdot b = (24 \cdot 10^{-3}) \cdot (34 \cdot 10^{-3}) \cdot 2 \quad (53)$$

$$d = \varnothing d$$

$$S = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$p = 19,88 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$p \leq p_{\text{dov}} \quad (54)$$

Střih čepu:

$$\tau_s = \frac{F_s}{S} = \frac{31808,62}{4,5 \cdot 10^{-4}} \quad (55)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (24 \cdot 10^{-3})^2}{4} \quad (56)$$

$$S = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\tau_s = 70,7 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

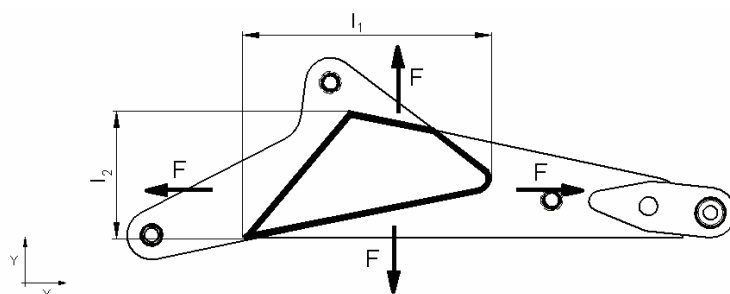
$$\tau_s \leq p_{\text{dov}} \quad (57)$$

## 4.4 Kontrola svarů

### Pata výložníku (obr. 4.9)

Materiál rámu 15 230  $\Rightarrow R_e = 635 \cdot 10^6 Pa$  [3]

Elektroda E-B 204  $\Rightarrow R_e = 460 \cdot 10^6 Pa$  [4]



Obr. 4.9 – Schéma svaru paty výložníku

Zatěžující síla bude poloviční, protože uchyty jsou po obou stranách výložníku.

$h$  – výška svaru,  $l$  – délka svaru

$$F_{sv} = \frac{F}{2} = \frac{50261,13}{2} = 25130,56N \quad (58)$$

$$a_s = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 5 = 3,5mm \quad (59)$$

$$S = a_s \cdot l \quad (60)$$

$$\tau_x = \frac{F_{sv}}{S} = \frac{25130}{2 \cdot 3,5 \cdot 400} = 8,97MPa \quad (61)$$

$$\tau_y = \frac{F_{sv}}{S} = \frac{25130}{2 \cdot 3,5 \cdot 200} = 17,95MPa \quad (62)$$

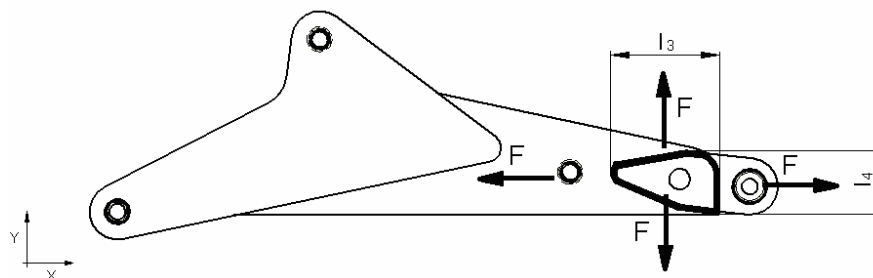
$x$  – převodní součinitel svarového spoje

$$\tau_D = x \cdot R_e = 0,7 \cdot 460 = 322MPa \quad (63)$$

### Úchyt násady (obr. 4.10)

Materiál rámu 15 230  $\Rightarrow R_e = 635 \cdot 10^6 Pa$

Elektroda E-B 204  $\Rightarrow R_e = 460 \cdot 10^6 Pa$



Obr. 4.10 – Schéma svaru uchytu násady na výložníku

Zatěžující síla bude poloviční, protože uchytí jsou po obou stranách výložníku.

$h$  – výška svaru

$l$  – délka svaru

$$F_{sv} = \frac{F}{2} = \frac{50261,13}{2} = 25130,57 N \quad (64)$$

$$\tau_x = \frac{F_{sv}}{S} = \frac{25130}{2 \cdot 3,5 \cdot 150} = 23,93 MPa \quad (65)$$

$$\tau_y = \frac{F}{S} = \frac{25130}{2 \cdot 3,5 \cdot 80} = 44,87 MPa \quad (66)$$

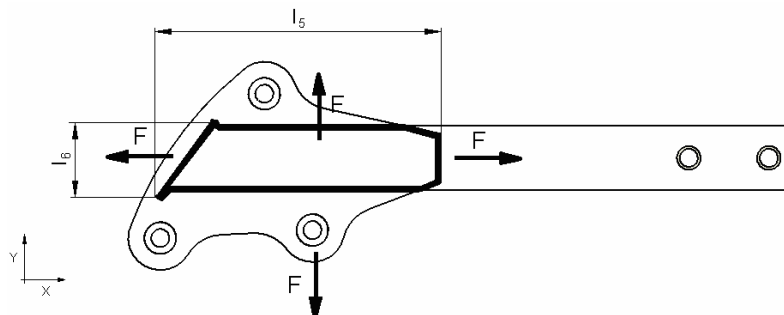
$x$  – převodní součinitel svarového spoje

$$\tau_D = x \cdot R_e = 0,7 \cdot 460 = 322 MPa \quad (67)$$

### Úchyty násady (obr. 4.11)

Materiál rámu 15 230  $\Rightarrow R_e = 635 \cdot 10^6 Pa$

Elektroda E-B 204  $\Rightarrow R_e = 460 \cdot 10^6 Pa$



Obr. 4.11 – Schéma svaru úchytů násady

Zatěžující síla bude poloviční, protože uchytý jsou po obou stranách výložníku.

$h$  – výška svaru

$l$  – délka svaru

$$F_{sv} = \frac{F}{2} = \frac{50261,13}{2} = 25130,57 N \quad (68)$$

$$\tau_x = \frac{F_{sv}}{S} = \frac{25130}{2 \cdot 3,5 \cdot 340} = 10,56 MPa \quad (69)$$

$$\tau_y = \frac{F_{sv}}{S} = \frac{25130}{2 \cdot 3,5 \cdot 80} = 44,87 MPa \quad (70)$$

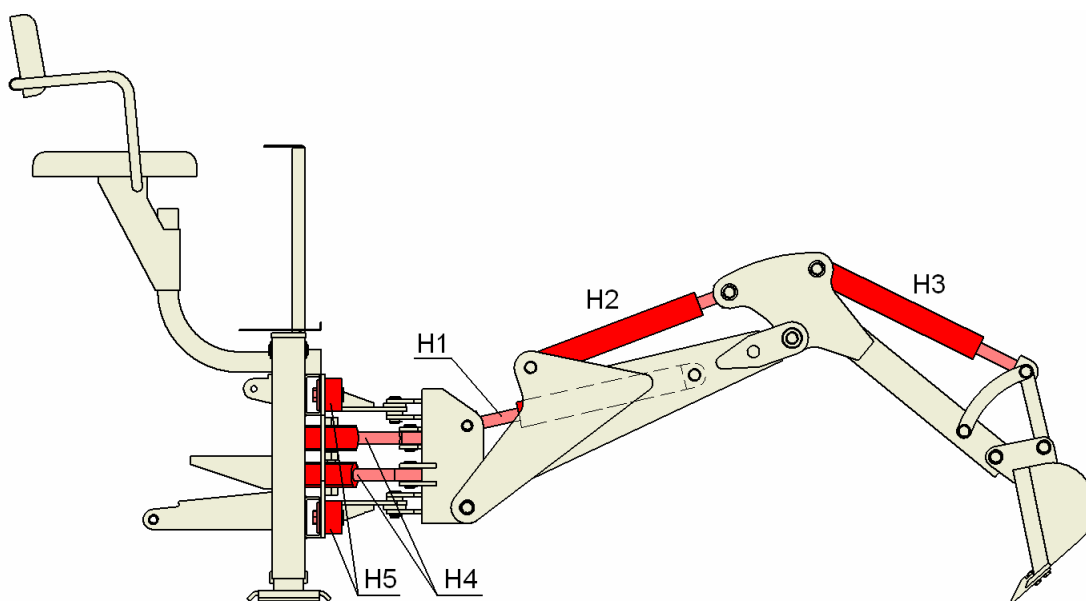
$x$  – převodní součinitel svarového spoje

$$\tau_D = x \cdot R_e = 0,7 \cdot 460 = 322 MPa \quad (71)$$

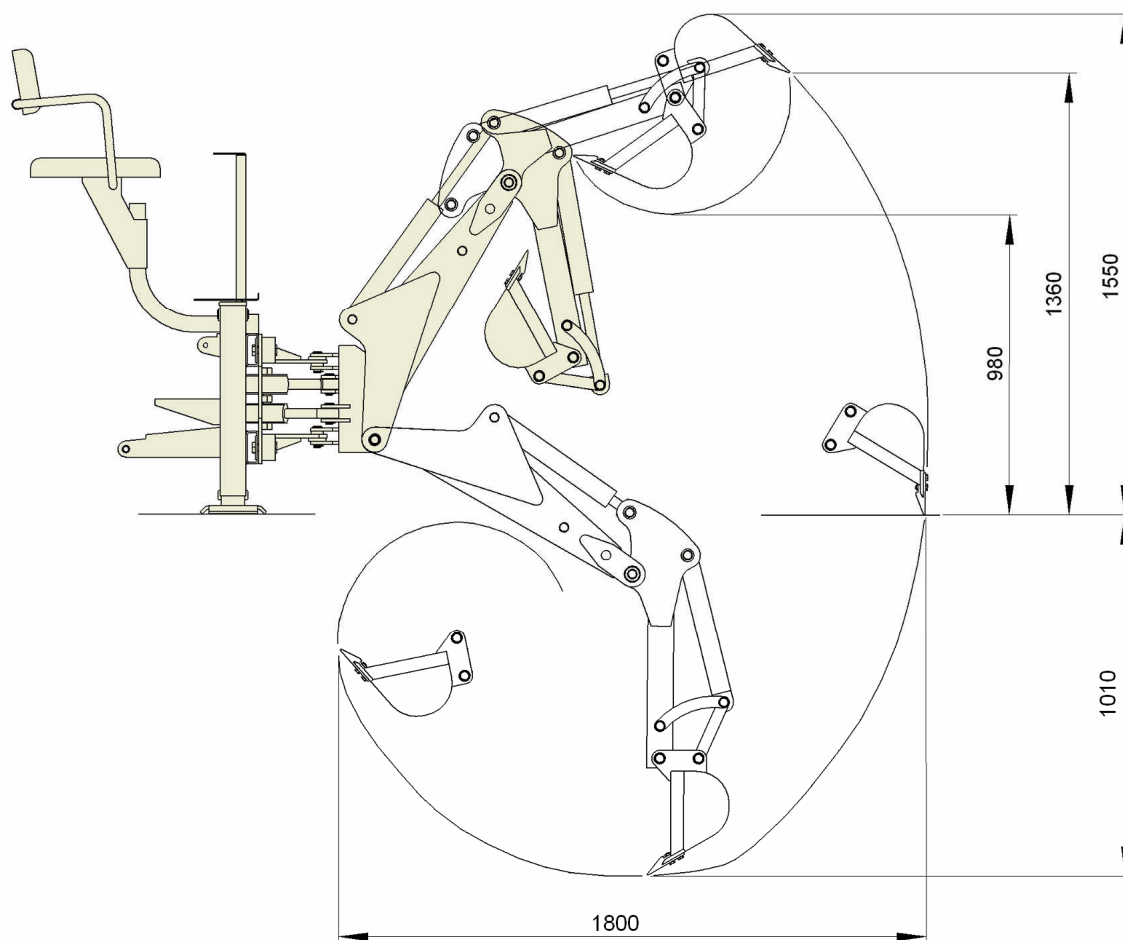
## 5. Kinematické schéma podkopového rypadla pro malotraktor W5000

Kinematické schéma znázorňuje přídatný podkopový stroj pro malotraktor W5000 YUKON (obr. 5.1). Hydromotor H1 ovládá zvedání výložníku. Hydromotor H2 ovládá polohu násady. Hydromotor H3 ovládá lopatu přes pákový mechanismus. Hydromotory H4 ovládají natáčení celého ramene rypadla v úhlu 180°. Jistící hydraulické upínky H5 zajišťují rameno proti bočnímu posuvu po vodítkách základny stroje. Pro změnu polohy ramene na základně stroje je potřeba upínky hydraulicky odjistit a ramenem rypadla se přitáhnout v požadovanou stranu. Poté se upínky znovu zajistí.

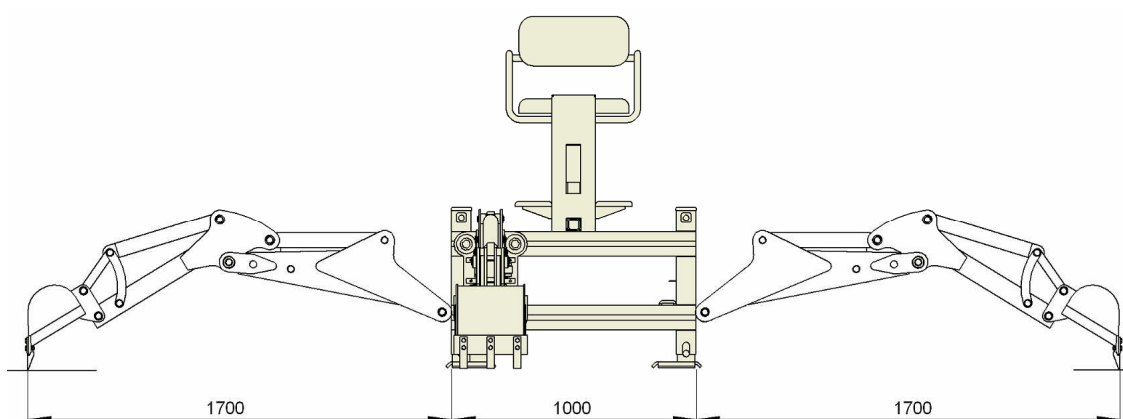
Základní kinematická charakteristika rypadla je nejnázorněji zachycena grafickou metodou. Rozměry dosahů jsou uvedeny na (obr. 5.2, obr. 5.3).



Obr. 5.1 – Rozmístění hydromotorů ramene rypadla



Obr. 5.2 – Dosahy rypadla



Obr. 5.3 – Boční dosahy rypadla

## 6. Kontrola stability rypadla

Celek rypadla a malotraktoru bude při přepravě stabilní, pokud výslednice všech sil včetně tíhových působící na stroj bude procházet obrazcem opsaným opěrnými body podvozku.

Kontrola stability rýpadla je provedena v nejnejpříznivější poloze výložníku, násady, lopaty a rýpadla vůči základně rypadla a malotraktoru – tj. příčná stabilita. Aby byla splněna podmínka stability musí platit momentová podmínka rovnováhy:

$$M_{CS} \geq M_{CK} \quad (72)$$

kde:  $M_{CS}$  – celkový stabilizační moment vztažený ke klopné hraně

$M_{CK}$  – celkový klopný moment vztažený ke klopné hraně

Bezpečnost proti překlopení potom bude:

$$k_s = \frac{M_{CS}}{M_{CK}} \quad (73)$$

Hmotnosti jednotlivých celků jsou uvažovány podle SW Inventor a souřadnice těžišť byly určeny graficky v SW AutoCAD. Schéma kontroly stability je uvedeno na (obr. 6.1) (obr. 6.2). Do stability byli započítány i pravděpodobné hmotnosti hydraulického vybavení, které nejsou na schématech vyobrazena.

$m_{N1}$ -Hmotnost přední části malotraktoru = 800 Kg

$m_{N2}$ - Hmotnost zadní části malotraktoru = 760 Kg

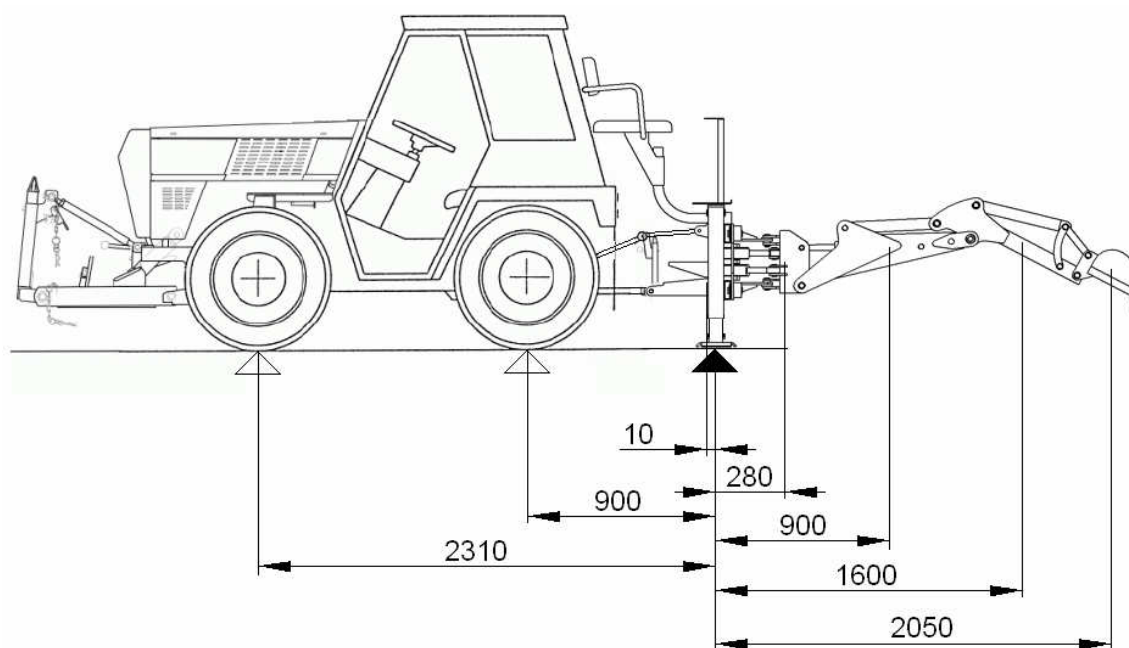
$m_Z$ - Hmotnost základny rypadla = 150 Kg

$m_V$ - Hmotnost výložníku = 40 Kg

$m_N$ - Hmotnost násady = 35 Kg

$m_L$ - Hmotnost lopaty = 14 Kg

## Podélná stabilita



Obr. 6.1 – Vyšetření poloh těžišť

## Stabilizační momenty

Celkový stabilizující moment:

$$M_{CS} = M_{N1} + M_{N2} + M_Z \quad (74)$$

Moment od hmotnosti na přední nápravu:

$$M_{N1} = G_{N1} \cdot x_{N1} = 790 \cdot 9,81 \cdot 2,310 = 17902 Nm \quad (75)$$

Moment od hmotnosti na zadní nápravu:

$$M_{N2} = G_{N2} \cdot x_{N2} = 770 \cdot 9,81 \cdot 0,9 = 6798 Nm \quad (76)$$

Moment od základny rypadla:

$$M_Z = G_Z \cdot x_Z = 150 \cdot 9,81 \cdot 0,01 = 15 Nm \quad (77)$$

Celkový stabilizační moment bude potom podle (74) :

$$M_{CS} = 17902 + 6798 + 15 = 24715 Nm$$



### ***Klopné momenty***

Celkový klopný moment:

$$M_{CK} = M_{ZV} + M_V + M_N + M_L \quad (78)$$

Moment od hmotnosti vozíku posuvu:

$$M_{ZV} = G_{ZV} \cdot x_{ZV} = 20 \cdot 9,81 \cdot 0,28 = 55 Nm \quad (79)$$

Moment od hmotnosti výložníku:

$$M_V = G_V \cdot x_V = 46 \cdot 9,81 \cdot 0,9 = 406 Nm \quad (80)$$

Moment od hmotnosti násady:

$$M_N = G_N \cdot x_N = 38 \cdot 9,81 \cdot 1,600 = 596 Nm \quad (81)$$

Moment od hmotnosti lopaty:

$$M_L = G_L \cdot x_L = 14 \cdot 9,81 \cdot 2,05 = 281 Nm \quad (82)$$

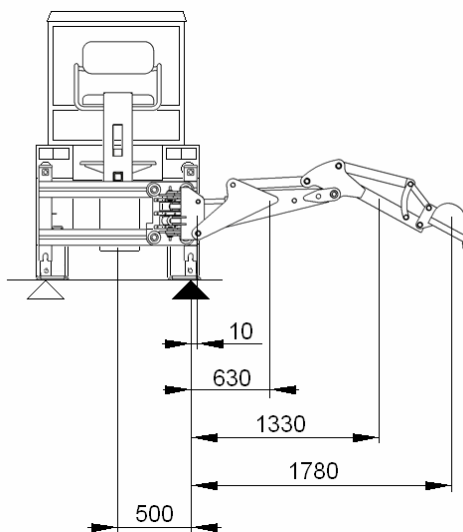
Celkový klopný moment bude potom podle (6.7) :

$$M_{CK} = 55 + 406 + 596 + 281 = 1338 Nm$$

Podmínka (73) je splněna, stabilita rýpadla je dostatečná, bezpečnost proti překlopení:

$$k_s = \frac{M_{CS}}{M_{CK}} = \frac{24715}{1338} = 18,5$$

## Boční stabilita



Obr. 6.2 – Vyšetření poloh těžiště

### Stabilizační momenty

Celkový stabilizující moment:

$$M_{CSB} = M_T + M_{ZR} \quad (83)$$

Moment od hmotnosti traktoru:

$$M_T = G_T \cdot x_T = 1560 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 7652 Nm \quad (84)$$

Moment od hmotnosti základny rypadla:

$$M_{ZR} = G_Z \cdot x_Z = 150 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 736 Nm \quad (85)$$

Celkový stabilizační moment bude potom podle (82) :

$$M_{CSB} = 7652 + 736 = 8388 Nm$$

### Klopné momenty

Celkový klopný moment:

$$M_{CKB} = M_{ZVB} + M_{VB} + M_{NB} + M_{LB} \quad (86)$$

Moment od hmotnosti vozíku posuvu:

$$M_{ZV} = G_{ZV} \cdot x_{ZVB} = 20 \cdot 9,81 \cdot 0,1 = 20 Nm \quad (87)$$

Moment od hmotnosti výložníku:

$$M_{VB} = G_V \cdot x_{VB} = 46 \cdot 9,81 \cdot 0,63 = 284 Nm \quad (88)$$

Moment od hmotnosti násady:

$$M_{NB} = G_N \cdot x_{NB} = 38 \cdot 9,81 \cdot 1,33 = 496 Nm \quad (89)$$

Moment od hmotnosti lopaty:

$$M_{LB} = G_L \cdot x_{LB} = 14 \cdot 9,81 \cdot 1,78 = 244 Nm \quad (90)$$

Celkový klopný moment bude potom podle (6.7) :

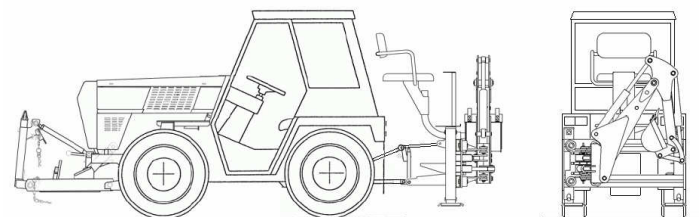
$$M_{CKB} = 20 + 284 + 496 + 244 = 1044 Nm$$

Podmínka (73) je splněna, stabilita rýpadla je dostatečná, bezpečnost proti překlopení:

$$k_s = \frac{M_{CSB}}{M_{CKB}} = \frac{8388}{1044} = 8$$

### Stabilita při přepravě

Předpokládaná hmotnost celého přídatného podkopového rýpadla nepřevyšuje povolenou zátěž na zadní tříbodový závěs traktoru (závislost hmotnosti na vzdálenosti uchycení) (obr. 3.1). Rýpadlo musí být složeno v přepravní poloze.



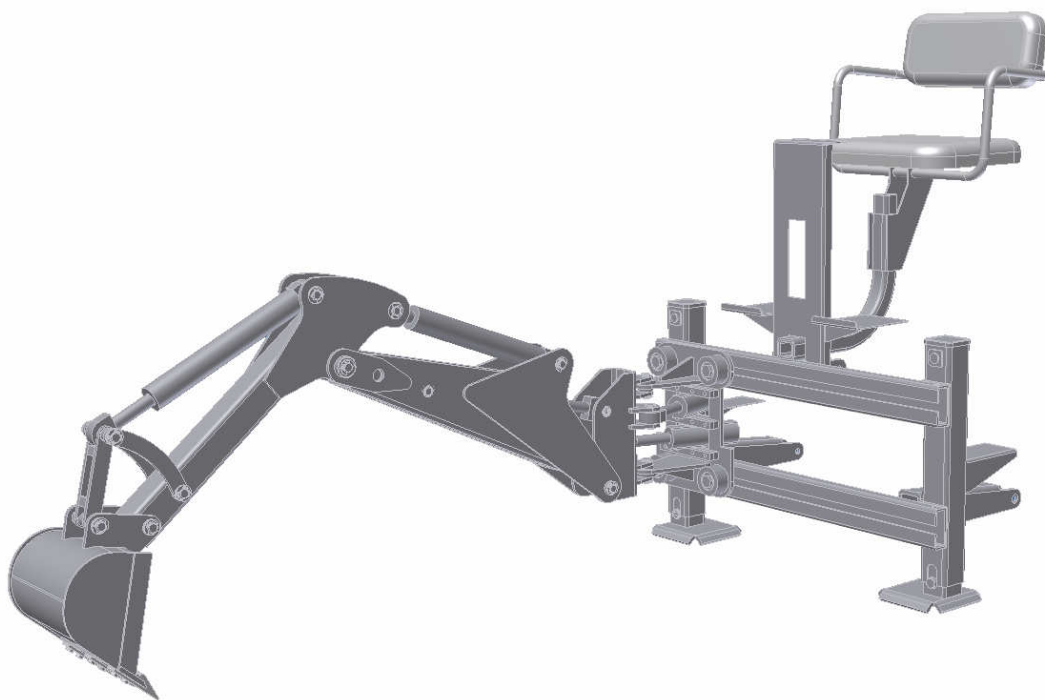
Obr. 6.3 – Přepravní poloha rýpadla

## 7. Závěr

Přídavné podkopové stroje patří do rozsáhlé skupiny stavebních strojů jako jsou hydraulické lopatové rypadla. Tato přídavná zařízení rozšiřují možnosti využití klasických traktorů. Jejich výhoda spočívá v modulárnosti. Čili, jednoduše a rychle měnit své pracovní vybavení podle aktuálních potřeb. Což je ekonomicky i prakticky výhodné pro provozy s různou náplní práce.

Ve své diplomové práci jsem se zabýval návrhem přídavného podkopového stroje (obr. 7.1). A to zejména ramenem (výložník, násada). Hlavním omezujícím faktorem byla velikost složeného stroje při přepravě.

Zpočátku jsem v rešerši probral problematiku hydraulických lopatových rypadel a následně navrhl konstrukci přídavného podkopového stroje. Pro kontrolu jsem provedl výpočet pevnostní kontroly hlavních konstrukčních uzlů ramene podkopového stroje. Vypracoval kinematické schéma a provedl výpočty stability celku rypadla a traktoru v nejnepríznivějších polohách.



Obr. 7.1 – Podkopový stroj pro agregaci k malotraktoru W 5000

## 8. Seznam použitých pramenů

- [1] JEŘÁBEK, K., HELEBRANT, F., JURMAN, J., VOŠTOVÁ, V.: *Stroje pro zemní práce, silniční stroje*, VŠB-TU Ostrava 1995. I. vydání, 464 str., ISBN 80-7078-389-3
- [2] JEŘÁBEK, K.: *Konstrukce a provoz hydraulických lopatových rypadel*, ČVUT Praha 1978. I. vydání, 152 str.
- [3] ŘASA, J., ŠVORCL, j.: *Strojnické tabulky 1 pro školu a praxi*, Scentia, spol. s. r. o., Praha 2004. vydání 754 str.
- [4] ŘASA, J., ŠVORCL, j.: *Strojnické tabulky 2 pro školu a praxi*, Scentia, spol. s. r. o., Praha 2007. vydání 586 str.
- [5] [www.wisconsineng.cz](http://www.wisconsineng.cz)

## **9. Seznam příloh**

Příloha 1:

Výkresová dokumentace ramene rypadla a sestavný výkres rypadla

Příloha 2:

Diplomová práce na CD